

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

Dpto. de INGENIERÍA DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA



INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL
ESPECIALIDAD ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

PROYECTO FIN DE CARRERA

**PUESTA EN MARCHA Y
DOCUMENTACIÓN DEL TOBILLO
DEL ROBOT HUMANOIDE RH2**

AUTOR: CRISTINA GÓMEZ ROYUELA

TUTOR: CONCEPCIÓN ALICIA MONJE MICHARET

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

Dpto. de INGENIERÍA DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA



INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL
ESPECIALIDAD ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

PROYECTO FIN DE CARRERA

**PUESTA EN MARCHA Y
DOCUMENTACIÓN DEL TOBILLO
DEL ROBOT HUMANOIDE RH-2**

AUTOR: CRISTINA GÓMEZ ROYUELA

TUTOR: CONCEPCIÓN ALICIA MONJE MICHARET

*A mis padres, Jesús y Clara.
Gracias.*

Agradecimientos

Al comenzar a escribir este proyecto no puedo evitar que emerja en mi mente la imagen de mi primer día de clase en la Universidad Carlos III, ese día en el que todos estamos desubicados y no sabemos que hacer. Parece mentira que ahora mismo esté redactando el proyecto fin de carrera.

Durante todos estos años en la universidad siempre he tenido en el pensamiento toda esa gente que de algún modo u otro han sido y son importantes en mi vida. Por ello merecen ser mencionados en estas líneas.

A mi tutora Concha, gracias por hacerme mas llevadero este proyecto, por estar siempre que se te ha necesitado y por enseñarme todas las cosas que me has enseñado. Ha sido un placer.

A mis amigos, gracias por haber compartido lo buenos y malos momentos conmigo, por haberme apoyado por que esta amistad dure muchos años.

A mi hermana y mi cuñado, gracias por haber confiado siempre en mí y darme ánimos cuando los he necesitado.

A Luís, gracias por toda la ayuda que me has regalado, por el apoyo y cariño que durante este tiempo me has dado y espero que me sigas dando.

A mis padres, gracias los valores que me habéis inculcado, por toda la educación que he recibido y por, simplemente, ser mis padres. Por todo esto, os dedico este trabajo.

Cristina Gómez Royuela

12 de julio de 2010



1 INTRODUCCIÓN.....	5
1.1 INTRODUCCIÓN	5
1.2 OBJETIVOS	6
1.3 ESTRUCTURA DEL PROYECTO	7
2 DESCRIPCIÓN DEL TOBILLO DEL RH2	8
2.1 INTRODUCCIÓN	8
2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROTOTIPO	10
2.3 DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL PROTOTIPO	12
2.3.1 Motores	12
2.3.2 Drivers	13
2.3.3 Encoders absolutos	15
2.3.4 Encoders relativos	15
2.3.5 Equipo de reducción	16
2.3.5.1 Reductoras Harmonic Drive	16
2.3.5.2 Poleas	17
2.3.6 Sensor de fuerza	18
2.3.7 Fuente de alimentación	19
3 PLACA DE CONEXIONES.....	20
3.1 INTRODUCCIÓN	20
3.2 DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS	21
3.2.1 Conectores para los drivers	21
3.2.2 Conectores para los encoders relativos	24
3.2.3 Conectores para los motores	24
3.2.4 Conector para la fuente de alimentación	25
3.2.5 Condensadores	25
3.2.6 Conector para RS232	25
3.3 PROTOTIPADO DE LA PLACA PCB	26
3.3.1 Diseño en Orcad Capture	26
3.3.1.1 Huella para el driver del motor	27
3.3.1.2 Huella para el encoder relativo	27
3.3.1.3 Huella para el motor	27
3.3.1.4 Huella para la fuente de alimentación	28
3.3.1.5 Huella para los condensadores	28
3.3.1.6 Huella para el conector RS232	28
3.3.1.7 Esquemático total	29
3.3.2 Diseño en Orcad Layout	29

3.3.2.1 Huella para el driver del motor	30
3.3.2.2 Huella para el encoder relativo.....	30
3.3.2.3 Huella para el motor.....	30
3.3.2.4 Huella para fuente de alimentación	30
3.3.2.5 Huella para los condensadores	30
3.3.2.6 Huella para el conector RS232.....	31
3.3.2.7 Rutado final de la placa PCB	31
3.3.3 <i>Aspecto final de la placa</i>	32
4 SISTEMA DE ACTUACIÓN DE LA PLATAFORMA	33
4.1 INTRODUCCIÓN	33
4.2 EASY MOTION STUDIO.....	33
4.2.1 <i>Introducción</i>	33
4.2.2 <i>Conexionado</i>	33
4.2.3 <i>Creación de un proyecto</i>	34
4.2.4 <i>Ejecución de trayectorias</i>	38
4.2.5 <i>Obtención de gráficas</i>	41
5 SISTEMA DE SENSORIZACIÓN DE LA PLATAFORMA	42
5.1 INTRODUCCIÓN	42
5.2 FUERZA Y PAR EJERCIDO SOBRE LA BASE DEL PÉNDULO INVERTIDO	42
5.2.1 <i>Introducción</i>	42
5.2.2 <i>Conexionado</i>	43
5.2.3 <i>Configuración inicial y uso de JR3-PCI</i>	44
6 RESULTADOS EXPERIMENTALES	48
6.1 INTRODUCCIÓN	48
6.2 GRÁFICAS SOFTWARE EASY MOTION STUDIO.....	48
6.2.1 <i>Gráficas de un grado de libertad</i>	48
6.2.2 <i>Gráficas de dos grado de libertad</i>	51
6.3 GRÁFICAS SOFTWARE JR3-PCI.....	53
7 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	55
7.1 CONCLUSIONES	55
7.2 TRABAJOS FUTUROS.....	56
BIBLIOGRAFÍA.....	57
ANEXOS.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2.1 Péndulo invertido simple</i>	8
<i>Figura 2.2 Esquema planos</i>	10
<i>Figura 2.3 Plataforma experimental</i>	10
<i>Figura 2.4 Base de la plataforma</i>	11
<i>Figura 2.5 Motores y reductoras Harmonic Drive</i>	12
<i>Figura 2.6 Motor Maxon</i>	13
<i>Figura 2.7 Driver Technosoft ISCM 8005</i>	14
<i>Figura 2.8 Conexiones de Driver</i>	14
<i>Figura 2.9 Encoder relativo</i>	15
<i>Figura 2.10 Diseño esquemático de un encoder magnético</i>	15
<i>Figura 2.11 Reductora Harmonic Drive</i>	17
<i>Figura 2.12 Detalle de correa estriada</i>	17
<i>Figura 2.13 Sensor JR3</i>	18
<i>Figura 2.14 Conexiones RJ-11</i>	18
<i>Figura 2.15 Fuente de alimentación</i>	19
<i>Figura 3.1 Placa de puntos</i>	20
<i>Figura 3.2 Placa PCB</i>	21
<i>Figura 3.3 Driver motor</i>	22
<i>Figura 3.4 Peine Card Edge</i>	22
<i>Figura 3.5 Conexiones</i>	23
<i>Figura 3.6 Conector encoder relativo</i>	24
<i>Figura 3.7 Conectores motores</i>	24
<i>Figura 3.8 Condensador electrolítico</i>	25
<i>Figura 3.9 Manguera y conector RS232</i>	26
<i>Figura 3.10 Conexión cable RS232</i>	26
<i>Figura 3.11 Huella en Orcad para el driver</i>	27
<i>Figura 3.12 Huella en Orcad para el encoder relativo</i>	27
<i>Figura 3.13 Huella en Orcad para el motor</i>	28
<i>Figura 3.14 Huella en Orcad para la fuente de alimentación</i>	28
<i>Figura 3.15 Huella en Orcad para condensadores</i>	28
<i>Figura 3.16 Huella en Orcad para el conector RS232</i>	28
<i>Figura 3.17 Esquemático total placa en Orcad Capture</i>	29
<i>Figura 3.18 Huella en Orcad Layout para el driver del motor</i>	30
<i>Figura 3.19 Huella en Orcad Layout para el encoder relativo</i>	30
<i>Figura 3.20 Huella en Orcad Layout para el motor</i>	30
<i>Figura 3.21 Huella en Orcad Layout del conector para los condensadores</i>	30
<i>Figura 3.22 Huella en Orcad Layout del conector SUB-D9</i>	31
<i>Figura 3.23 Rutado final de la placa PCB</i>	31

Figura 3.24 Cara superior de la placa PCB	32
Figura 3.25 Cara inferior de la placa PCB	32
Figura 4.1 Conexión péndulo-driver.....	34
Figura 4.2 Creación proyecto I.....	35
Figura 4.3 Creación de proyecto II.....	35
Figura 4.4 DC Motor Setup.....	36
Figura 4.5 Position Controller Tunning Test.....	37
Figura 4.6 Programación de trayectorias.....	37
Figura 4.7 Trayectorias realizadas	38
Figura 4.8 Aviso de error de firmware.....	39
Figura 4.9 Pantalla de actualización de firmware.....	40
Figura 4.10 Trayectoria en Easy Motion de un grado de libertad.....	41
Figura 5.1 Conexiones RJ-11.....	43
Figura 5.2 Cable utilizado en el conector RJ-11.....	44
Figura 5.3 JR3-PCI (I).....	45
Figura 5.4 Configuración de parámetros.....	46
Figura 5.5 Lectura de fuerzas y momentos.	47
Figura 6.1 Posición del motor en el plano frontal para una trayectoria brusca	49
Figura 6.2 Velocidad del motor en el plano frontal para una trayectoria brusca	49
Figura 6.3 Posición del motor en el plano sagital para una trayectoria suave	50
Figura 6.4 Velocidad del motor en el plano sagital para una trayectoria suave	50
Figura 6.5 Posición de los motores en el plano frontal para una trayectoria suave	51
Figura 6.6 Velocidad de los motores en el plano frontal para una trayectoria suave	52
Figura 6.7 Posición de los motores en el plano sagital para una trayectoria suave	52
Figura 6.8 Velocidad de los motores en el plano sagital para una trayectoria suave	52
Figura 6.9 Fuerzas y momentos para un movimiento del péndulo.....	53

1 Introducción

1.1 Introducción

La robótica es la ciencia encaminada a diseñar y construir aparatos y sistemas capaces de realizar o ayudar al ser humano a desempeñar tareas. Dentro de esta amplia ciencia existen distintas especialidades, como la robótica industrial, la de servicio, la inteligente o la humanoide.

Con la aparición del concepto 'robot' a principios de siglo XX, se dio el pistoletazo de salida para el desarrollo de sistemas cada vez más autónomos. La tendencia en los últimos años a realizar robots que cada vez se asemejan mas al hombre, robots humanoides o también conocidos como androides, está creciendo de forma inminente.

En la robótica la actitud de los expertos hacia los autómatas humanoides ha vacilado entre el entusiasmo y el escepticismo. Entusiasmo porque un robot humanoide puede tener enormes ventajas para cierta clase de funciones, escepticismo debido a que para que una máquina robótica sea útil, ya se ha demostrado con ejemplos que la forma humana no es necesaria, y a veces es incluso un estorbo (respecto a las capacidades actuales de los androides).

La construcción de un robot que imite convincentemente aunque sea una parte ínfima de la libertad de gestos y movimiento humanos es una tarea de una enorme complejidad técnica. De hecho, es un problema que en varias instancias está todavía abierto a la investigación y a la mejora, aunque ya existen varios ejemplos bastante meritorios en ese sentido de robots humanoides que imitan ciertas conductas y capacidades humanas. Un ejemplo conocido en este sentido, es el robot Asimo de Honda, que es capaz de marchar en dos pies, de subir y bajar escaleras y de otra serie de proezas de locomoción bípeda.

1.2 Objetivos

El *Robotics Lab* de la Universidad Carlos III tiene prevista la construcción de un nuevo robot humanoide, el RH-2, sucesor del RH-1. Se trata de un humanoide que mejorará las prestaciones y movimientos del anterior.

Este trabajo se centra en el tobillo del robot, prototipado en una plataforma experimental de péndulo invertido de dos grados de libertad. El principal objetivo consiste en un control total del mismo así como documentar y analizar en profundidad cada elemento que forma el tobillo.

Para la integración de la plataforma con la unidad de control u ordenador, se dispondrá de una placa de conexiones, inicialmente realizada en una placa de puntos para su prueba, y posteriormente en una placa de circuito impreso, placa PCB.

El control y creación de las trayectorias del péndulo lo conseguiremos gracias al programa Easy Motion Studio, en el que además podremos obtener graficas tanto de velocidad como de posición en cualquier momento.

El sistema de sensorización de la plataforma estará documentado mediante el programa JR3-PCI, donde podremos ver las fuerzas y pares que se ejercen sobre la base de la plataforma.

Mediante este estudio se validará la mecánica y electrónica del conjunto motor-reductor para su futura aplicación como tobillo mecánico, y se utilizará como plataforma para el desarrollo de estrategias de control para la estabilidad del humanoide.

1.3 Estructura del proyecto

El proyecto se estructura en siete capítulos que a continuación se describirán brevemente.

El capítulo 1 comienza con una pequeña introducción al proyecto para dar una visión global de lo que va a tratar, así como de los principales objetivos del mismo.

En el capítulo 2 se trata todo lo referente a la plataforma experimental. Se da una descripción general del prototipo y su estructura, y una particular de cada elemento mecánico-electrónico que lo compone.

El capítulo 3 contiene una descripción íntegra de la placa de conexiones y PCB, así como de sus componentes y huellas utilizadas para su realización.

El sistema de actuación de la plataforma está documentado en el capítulo 4. Este capítulo contiene información sobre cómo realizar trayectorias e iniciar el movimiento del péndulo.

En el capítulo 5 se describe el sistema de sensorización y el uso de los programas necesarios para conseguir una visualización de las fuerzas y pares ejercidos sobre el sensor de fuerza de la plataforma.

Todos los resultados experimentales se encuentran recogidos en el capítulo 6.

Las conclusiones a las que se han llegado en este proyecto, así como los trabajos futuros, se encuentran detallados en el capítulo 7.

Al final del trabajo se incluye la bibliografía con las principales fuentes de información consultadas, y los anexos de algunos de los componentes utilizados.

2 Descripción del tobillo del

RH2

2.1 Introducción

Se trata de un prototipo de tobillo para el robot humanoide RH-2, cuya usabilidad tiene dos finalidades:

- Validación mecánica-electrónica del conjunto motor-reductor para su futura aplicación como tobillo mecánico.
- Plataforma para el desarrollo de estrategias de control para la estabilidad del humanoide.

Para abordar el control de la caminata del humanoide RH-2 de una forma preliminar mas sencilla, realizaremos un estudio previo sobre un péndulo invertido de dos grados de libertad en el que podemos programar trayectorias y realizar un control en lazo cerrado de estas mismas. Dicho modelo de péndulo se corresponde con un modelo simplificado del robot humanoide.

El modelo dinámico del robot humanoide RH-2 puede ser considerado similar al péndulo invertido de la Figura 2.1.

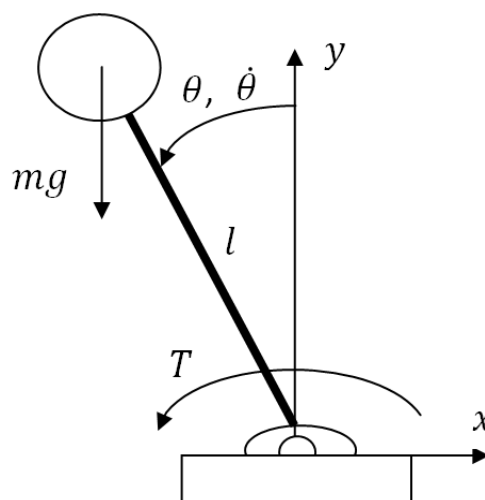


Figura 2.1 Péndulo invertido simple

Esta similitud está basada en varias suposiciones:

- La masa del humanoide (m) está concentrada en su centro de masas (extremo superior del péndulo), la cuál está una distancia l del suelo.
- La masa de la barra rígida se considera despreciable.
- La acción (par T) que permite moverse a la masa m un determinado ángulo θ a una velocidad $\dot{\theta}$ (movimiento del centro de masas durante la caminata) se ejerce mediante un servomotor (tobillo del humanoide anclado al extremo fijo de la barra).
- Este servomotor emula el comportamiento del tobillo del humanoide, que es quien ejerce mayoritariamente la acción de control durante la caminata.

Este modelo no es lo suficientemente complejo para simular la dinámica completa del humanoide y considerar sus no linealidades, sin embargo, como se ha podido comprobar recientemente, proporciona unos buenos resultados incluso experimentalmente, como primera aproximación. Como mejora a este modelo, se están obteniendo los primeros resultados modelando el robot humanoide RH-2 como un doble péndulo invertido.

La plataforma experimental de tobillo o péndulo invertido, consta de dos motores, dos encoders absolutos y relativos y dos reductoras Harmonic Drives. Cada elemento está por duplicado para conseguir los dos grados de libertad que posee el péndulo.

Para poder cargar trayectorias en el péndulo y controlarlo, deberemos conectarlo a una unidad de control (un ordenador) mediante una placa de conexiones que, además de interactuar entre ambos, aloja los drivers de ambos motores.

Por último, a parte de poder programar las trayectorias necesarias, también deberemos saber qué par de fuerza se está ejerciendo sobre el sensor de fuerza par situado en la base del péndulo. Esta medida se conseguirá gracias a la lectura de la placa QRJ3, preinstalada, que obtendremos mediante su propio software JR3PCI y a través de un conexionado con cable de Ethernet.

2.2 Descripción general del prototipo

Se trata de un péndulo invertido con dos grados de libertad de rotación, uno con un recorrido de 180° en el plano sagital y otro de 20° en el plano frontal, según se indica en la Figura 2.2. Gracias a estos dos grados, conseguiremos simular el movimiento del tobillo en la fase de simple apoyo durante la caminata.

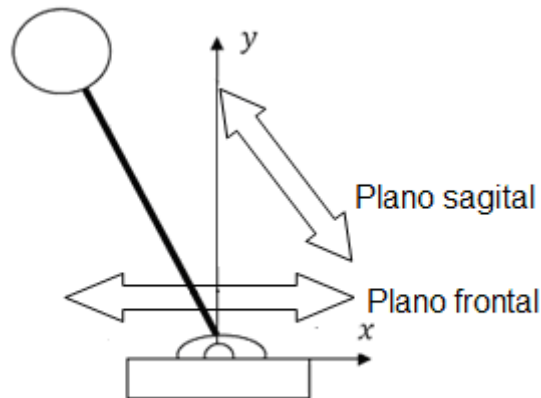


Figura 2.2 Esquema planos

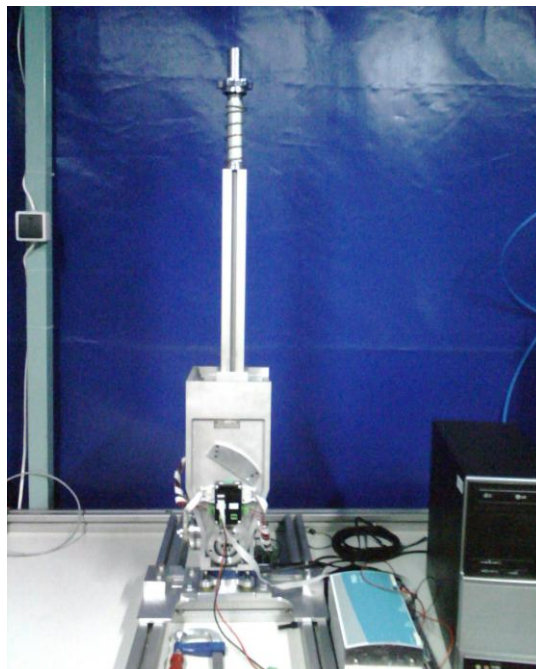


Figura 2.3 Plataforma experimental

En cuanto a su estructura, como se observa en la Figura 2.3, es íntegramente metálica y en su extremo superior, a 1 metro de distancia de la base (distancia media al centro de masas de un cuerpo humano), se encuentra situado un cilindro metálico que

permite roscar pesas de disco de diferentes masas para probar el prototipo en diversas condiciones de carga.

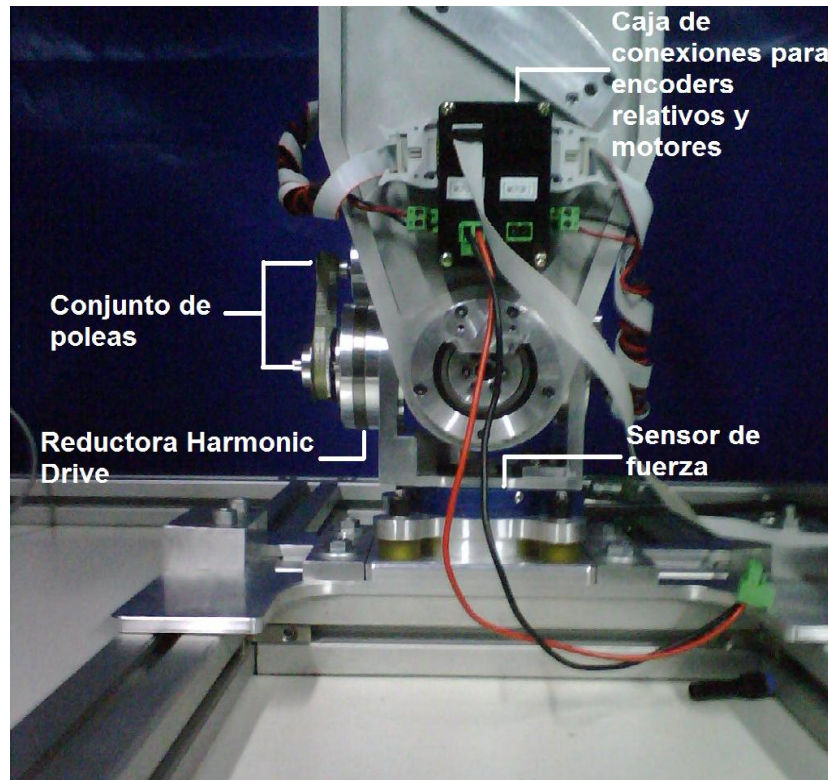


Figura 2.4 Base de la plataforma

El péndulo dispone de una base para anclaje, con unas dimensiones de 35cm de largo y 21cm de ancho (véase Figura 2.4). Se encuentra situado sobre una mesa, anclado a un banco para evitar los posibles movimientos debidos a las trayectorias que describirá el mismo.

Su composición mecánica consta de dos motores y sus correspondientes encoders absolutos y relativos, así como reductoras Harmonic Drive y un conjunto de poleas (véase Figura 2.5).

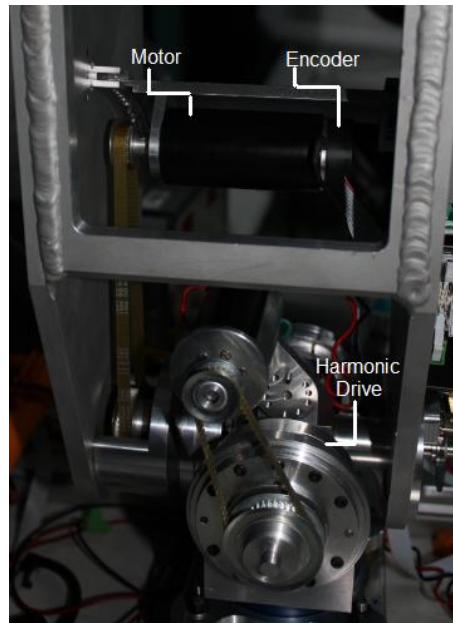


Figura 2.5 Motores y reductoras Harmonic Drive

Toda la comunicación entre el péndulo y el ordenador se realiza a través de una placa de conexiones que conectará ambos elementos. Dicha placa dispondrá de conexiones para los dos motores, encoders relativos, fuente de alimentación, y drivers, así como salidas mediante conectores RS232 hembras para conectar con los puertos del ordenador.

2.3 Descripción de los elementos del prototipo

2.3.1 Motores

Los dos motores que componen el péndulo son motores modelo Maxon DC (véase Figura 2.6) con escobillas de grafito, 90W, cuyas hojas de características se adjuntan en el anexo 1. Estos motores soportan una tensión nominal de 48V, una corriente en vacío de 59,7mA y tienen una constante de par de 75,8mNm/A.

Su conexión de alimentación se realiza mediante dos cables, Gnd y Vcc, o siguiendo la nomenclatura del driver A+ y A-.



Figura 2.6 Motor Maxon

Por otro lado, la conexión entre el motor y la placa PCB se realizará mediante un conector que soporte la corriente anteriormente citada. El conector elegido será del tipo clema enchufable, siendo una base fija de conexión.

2.3.2 Drivers

Los drivers se utilizan para poder gestionar y controlar los motores ante cualquier trayectoria. Necesitaremos dos drivers, uno por motor. En este caso, se trata de motores con escobillas y corriente continua, por lo que el driver más apropiado para los mismos será un Technosoft ISCM 8005, representado en la Figura 2.7.

Para generar las trayectorias de los motores nos ayudaremos del programa Easy Motion Studio (ver Capítulo 4).

Este tipo de drivers necesitan una alimentación de potencia de 24-48V, en este caso será de 48V y digital de 12-48 V, siendo necesaria también para este caso una tensión de 48V.

Según las hojas de características de los drivers, adjuntas en el anexo 2 para su correcto funcionamiento será necesaria la conexión de un condensador electrolítico por cada driver, de al menos 100uF y capacidad para soportar 63V. Los condensadores se soldarán a la placa PCB entre los pines *Vmot* y *GND* de cada driver, como se detallará en el capítulo 3.



Figura 2.7 Driver Technosoft ISCM 8005

Los drivers están alojados en la placa de conexiones en posición vertical, y con una distancia entre ellos o cualquier otro elemento de al menos 33mm, para permitir una fluida circulación del aire entre ambos.

En este caso los drivers serán conectados con nuestra placa de manera vertical mediante un peine de 34 pines.

El conexionado de cada pin esta descrito en la Figura 2.8.

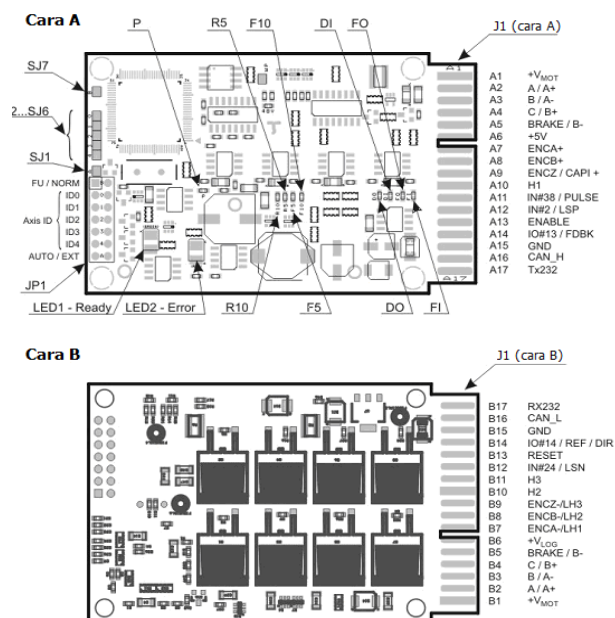


Figura 2.8 Conexiones de Driver

2.3.3 Encoders absolutos

Los encoders absolutos no se van a utilizar para estas pruebas, pero están siendo prototipados por Robotics lab.

2.3.4 Encoders relativos

Los encoders relativos son dispositivos electromecánicos (ver Figura 2.9) utilizados para obtener la posición angular de un eje en código digital, cuya conversión la realiza un transductor.



Figura 2.9 Encoder relativo

En esta plataforma se utilizan encoders relativos magnéticos-resistivos de la casa Maxon. En un encoder magnético-resistivo, el disco magnético multipolar montado en el eje del motor, genera una variación de tensión sinusoidal en el sensor. Las señales típicas de encoder son creadas mediante interpolación y tratamiento electrónico de la señal. En la Figura 2.10 podemos observar un esquema de un encoder magnético.

Este tipo de encoders relativos miden un alto número de pulsos gracias a la interpolación siendo seleccionable este número.

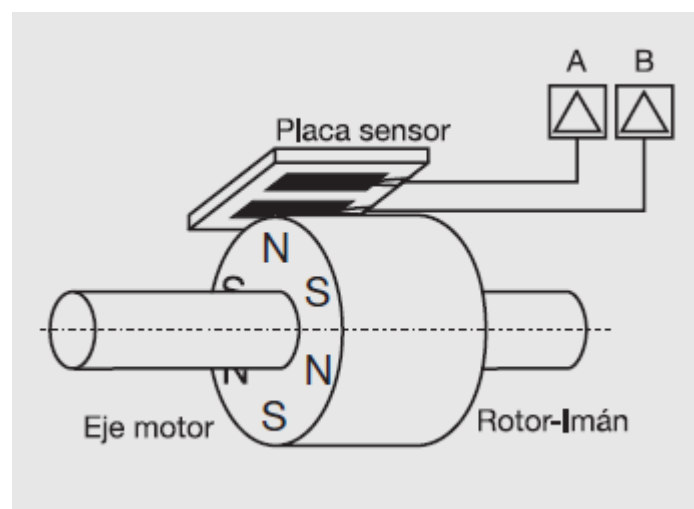


Figura 2.10 Diseño esquemático de un encoder magnético

Los encoders van acoplados al eje de los motores y se conectan a la placa PCB por medio de conectores de 10 pines de los cuales 2 no están conectados, los 8 restantes son:

- GND
- 5V
- Canal A
- Canal \bar{A}
- Canal B
- Canal \bar{B}
- Canal Z
- Canal \bar{Z}

2.3.5 Equipo de reducción

El equipo de reducción consta de dos reductoras del tipo Harmonic Drive y cuatro poleas cuya finalidad es obtener una menor velocidad de giro del motor y aumento de par.

2.3.5.1 Reductoras Harmonic Drive

Las reductoras Harmonic Drive utilizadas en este prototipo son el modelo CSD-20 de la casa Harmonic Drive, y su relación de reducción es de 1/160.

En la Figura 2.11 podemos observar los distintos elementos que componen una reductora Harmonic Drive, siendo su funcionamiento el siguiente:

- El *Wave Generator* elíptico se acciona e introduce en el *Flexpline* que adopta la forma elíptica de éste para introducirse en el *Circular Spline* con dentado interior y posicionándose como eje mayor de la elipse.
Al girar el *Wave Generator* se desplaza y gira el eje mayor de la elipse en la zona de engrane.
- Dado que el *Flexspline* dispone de menos dientes que el *Circular Spline*, después de media vuelta del *Wave Generator*, se realiza un movimiento relativo de un diente entre el *Flexspline* y el *Circular Spline* y de dos dientes después de una vuelta completa.
- Cuando el *Circular Spline* se ha fijado, el *Flexspline* gira como elemento de reducción de velocidad y en sentido opuesto al accionamiento.

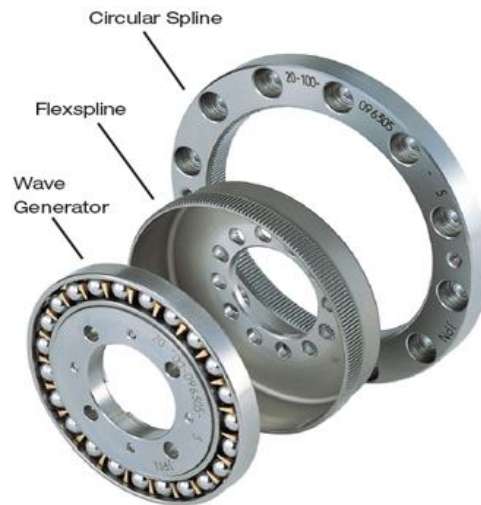


Figura 2.11 Reductora Harmonic Drive

2.3.5.2 Poleas

Las poleas son dispositivos mecánicos de tracción o elevación, formados por una rueda o roldana montada en un eje con un cuerda que rodea la circunferencia de la rueda.

En esta plataforma experimental se utiliza un conjunto de poleas con la llanta adecuada para correa estriada. Consta de una polea de entrada de 2.25cm de diámetro, y una de salida de 4.5cm de diámetro, como se observa en la Figura 2.12. La relación de reducción del conjunto de poleas es de 1/2.

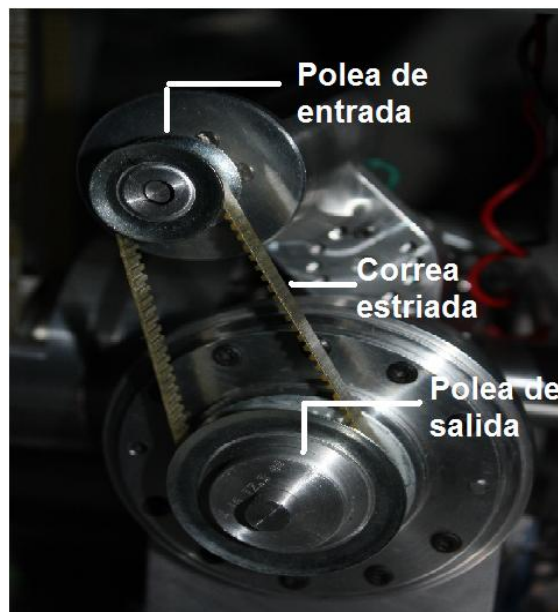


Figura 2.12 Detalle de correa estriada

2.3.6 Sensor de fuerza

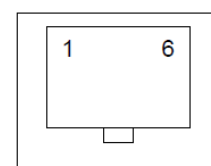
El prototipo utilizado posee un sensor de fuerza-par, situado en la base del mismo, cuya finalidad es mostrarnos en todo momento que fuerzas y que pares se están realizando sobre la base del péndulo.

Se trata de un sensor JR3 de la familia *M* (véase Figura 2.13), de 6 grados de libertad, por lo que mide los pares y fuerzas en los ejes del espacio cartesiano X, Y, Z. Es un dispositivo monolítico de aluminio que contiene sistemas electrónicos analógicos y digitales. Están constituidos por galgas de deformación que miden las cargas a las que está sometido el sensor. La tensión de estas galgas es amplificada y combinada para crear representaciones analógicas de la carga y los momentos en los tres ejes. Estos datos analógicos son convertidos a la forma digital gracias a los sistemas electrónicos contenidos en el interior del sensor según se indica en las hojas de características adjuntas en el anexo 4.

Este sensor se conecta al ordenador, que aloja su placa PCI JR-3114, mediante un cable con conector RJ-11 o RJ-45, de 6 u 8 pines respectivamente. En esta plataforma experimental usamos el de 6 pines, RJ-11, cuyas conexiones están especificadas en la Figura 2.14 y se adjunta su hoja de características en el anexo 3. A través del software JR3-PCI conseguiremos observar las variaciones que experimenta el sensor dependiendo de la posición en la que se encuentre el péndulo.



Figura 2.13 Sensor JR3



6 pin Sensor Jack

PIN	SEÑAL
1	DCLK +
2	DCLK -
3	+ ~ 8 V
4	PWR COM
5	DATA +
6	DATA -

Figura 2.14 Conexiones RJ-11

2.3.7 Fuente de alimentación

La alimentación de la placa de conexiones se realiza mediante una fuente de alimentación, modelo SL30 de la casa PULS (véase anexo 5) como la de la Figura 2.15.

Está protegida electrónicamente y a su salida tendrá una tensión de $24V_{DC}$ y 30A de corriente, mientras que la alimentación de la misma será a través de la red, pudiendo variar su tensión entre $208V_{AC}$ y $240V_{AC}$, una frecuencia de 50Hz y una corriente de 10A.



Figura 2.15 Fuente de alimentación

3 Placa de conexiones

3.1 Introducción

En este proyecto se ha diseñado una placa de conexiones que permite minimizar la necesidad de cableado sirviendo de interconexión entre los distintos elementos que componen la arquitectura hardware del péndulo o tobillo.

- Motores.
- Drivers de los motores.
- Encoders relativos.
- Alimentación.

La placa se ha realizado inicialmente en una de puntos (Figura 3.1) debido a su poca complejidad, y más tarde en circuito impreso (Figura 3.2), para conseguir una comunicación entre la plataforma experimental del tobillo y la unidad de control (un ordenador) y el total control del prototipo.

Para conseguir una correcta conexión, la placa deberá incluir las conexiones para ambos motores, así como peines para los drivers y encoders relativos, a parte de las conexiones de alimentación, las cuales irán todas a una misma fuente de alimentación. La conexión con el ordenador se realizara mediante conexiones serie RS232.

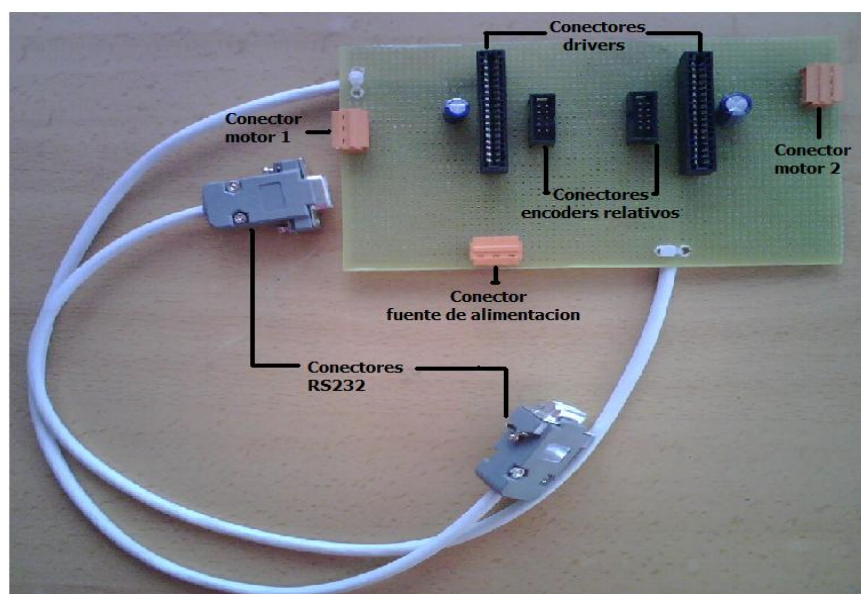


Figura 3.1 Placa de puntos

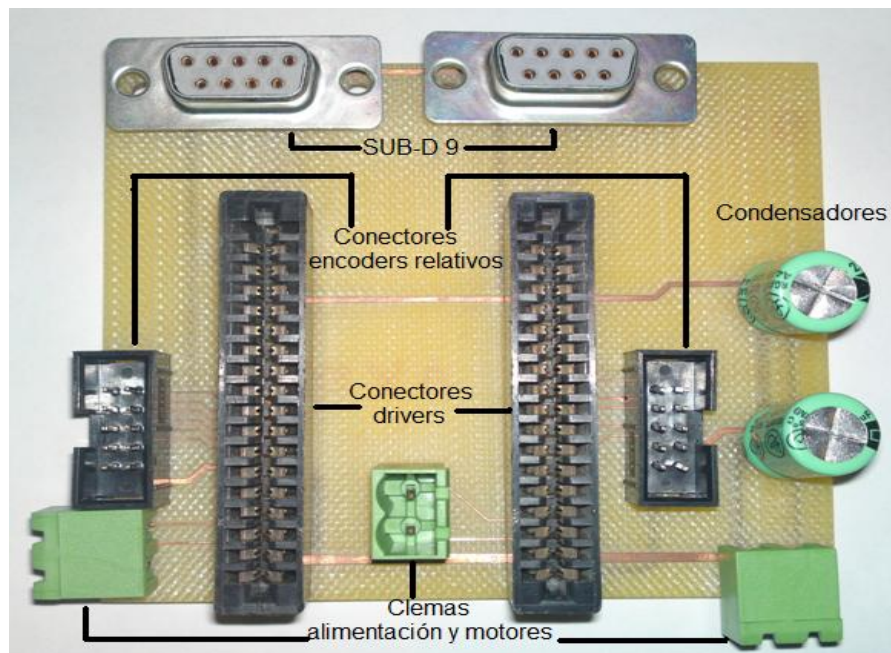


Figura 3.2 Placa PCB

3.2 Descripción de elementos

El diseño de la placa englobará todos los elementos necesarios para el correcto control de dos grados de libertad, los cuales son: dos condensadores, dos conectores para la lectura de los drivers, dos conectores para encoders relativos, dos conectores para los motores y todo ello alimentado desde una misma fuente de alimentación.

A continuación se desglosara con mayor detalle cada elemento.

3.2.1 Conectores para los drivers

El driver del motor es el modelo ISCM 8005 de la casa Technosoft, cuyas hojas de características se adjuntan las en el anexo 2.

Se trata de una placa comercial con la forma de la Figura 3.3 que se conecta a la placa de conexiones por medio de un peine Card Edge de 34 pines en posición vertical (véase Figura 3.4).

Por motivos de disponibilidad de material, la placa de puntos llevará un peine de 34 pines y en cambio la PCB usará uno de 36 pines, siendo los dos últimos pines extraídos del peine para la correcta inserción.

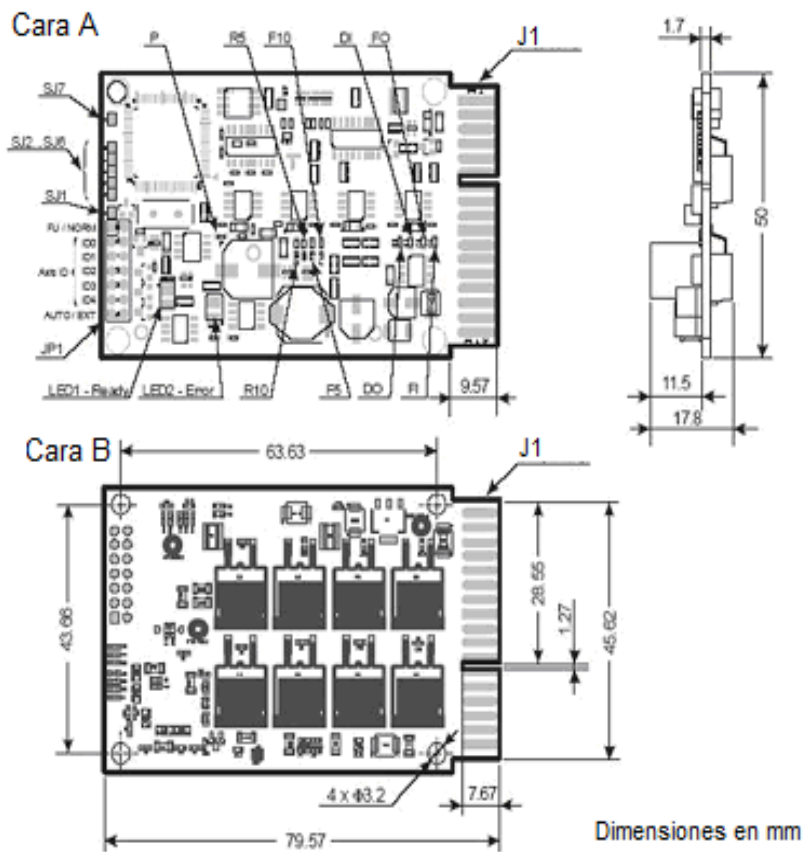


Figura 3.3 Driver motor



Figura 3.4 Peine Card Edge

Las conexiones, siguiendo el criterio de la Figura 3.5, son las siguientes:

Alimentación:

- Potencia: 12V-80V. En este caso se alimenta a 48V.
 - Digital: 12V-48V. En este caso se alimenta con 48V, en decir, se emplea la misma línea para la alimentación del circuito de potencia y del circuito digital.
- NOTA: se tendrá en cuenta que la tensión de alimentación no supere los 48V.

Conexión de motor:

- A2 y B2=> pin positivo del motor.
- A3 y B3 => -pin negativo del motor.
- A15 y B15 => Se conecta a la carcasa del motor y al blindaje, esto último no se va a utilizar.

Conexión del encoder relativo:

- Un total de 8 líneas son necesarias para conectar el encoder relativo con el driver.
- B15 y A15 => GND. Como parte de la alimentación y que también se conecta al blindaje del cable.
- A6 => +5V que alimenta al encoder relativo.
- A7 => Canal A.
- B7 => Canal \bar{A} .
- A8 => Canal B.
- B8 => Canal \bar{B} .
- A9 => Canal Z llamado de sincronismo.
- B9 => Canal \bar{Z} .

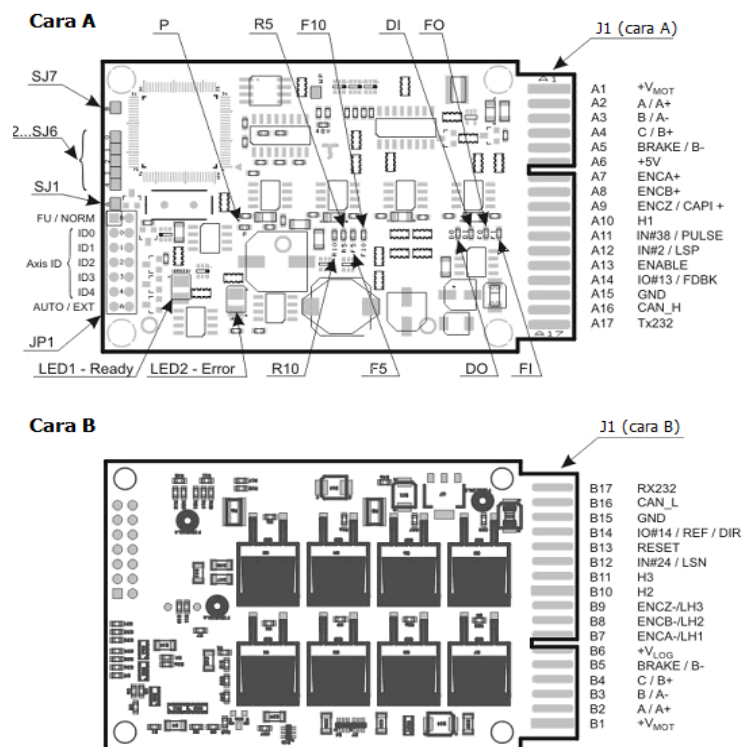


Figura 3.5 Conexiones

3.2.2 Conectores para los encoders relativos

Los encoders relativos van acoplados al eje del motor y se conectan a la placa por medio de un conector de 10 pines (Figura 3.6) de los cuales 2 no están conectados. Los restantes 8 van conectados al driver del motor como se indica en el epígrafe 3.2.1.



Figura 3.6 Conector encoder relativo

3.2.3 Conectores para los motores

Los dos motores que componen el péndulo son motores Maxon DC con escobillas y un consumo de 5A de corriente. Su hoja de características se adjunta en el anexo 1.

Para su conexión son necesarios dos cables, Gnd y Vcc, o siguiendo la nomenclatura del driver A+ y A-.

Los conectores elegidos serán del tipo clema enchufable (véase Figura 3.7), siendo una base fija de conexión.

Debido a disponibilidad de material, la placa de puntos llevará clemas de 3 pines, de modo que se usaran únicamente los de los extremos, dejando libre el del centro, mientras que en la placa PCB usaremos clemas de 2 pines.

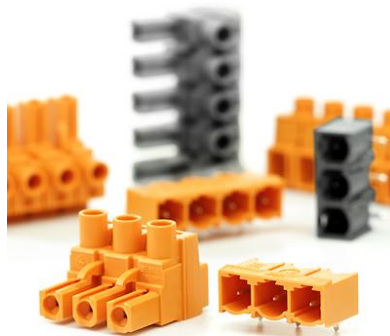


Figura 3.7 Conectores motores

3.2.4 Conector para la fuente de alimentación

El conector usado para la fuente de alimentación en la placa será el mismo que para los motores, descritos en el epígrafe 3.2.3.

3.2.5 Condensadores

Según las hojas de características de los drivers (anexo 2), para su correcto funcionamiento será necesaria la conexión de un condensador electrolítico (Figura 3.8) por cada driver, de al menos 100uF y capacidad para soportar al menos 63V, situado entre los pines de Vmod y GND.



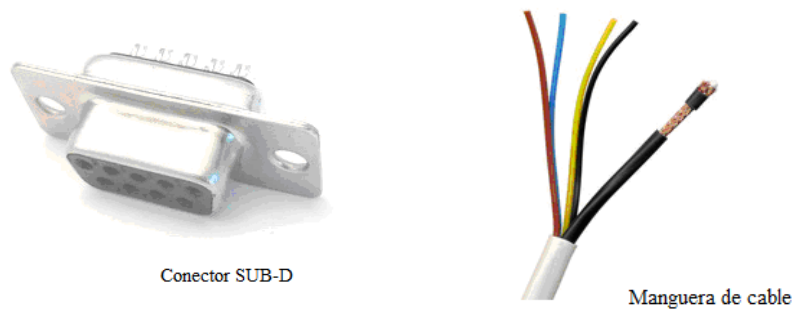
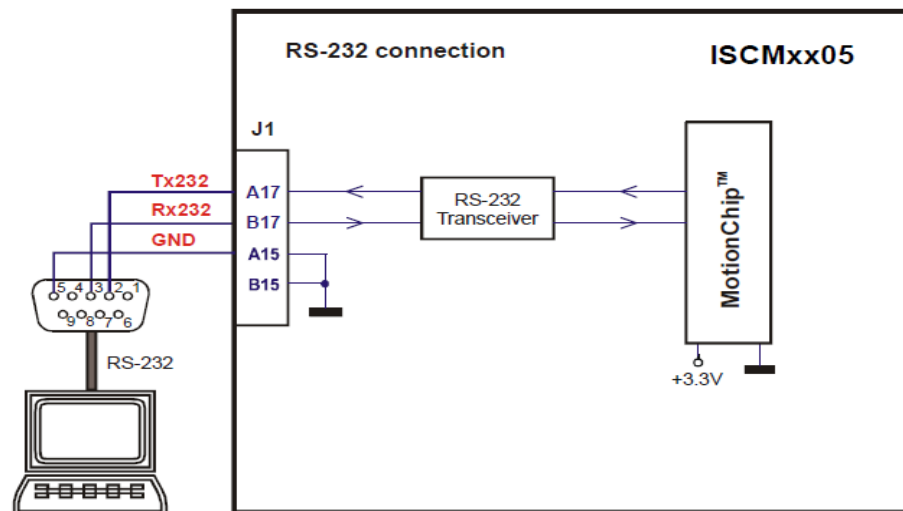
Figura 3.8 Condensador electrolítico

3.2.6 Conector para RS232

Usaremos esta conexión para conseguir una comunicación entre la unidad de control y la plataforma experimental.

En la placa de puntos, a parte del conector SUB-D hembra de nueve pines, necesitaremos una manguera de cable coaxial de al menos tres cables. Al haber sido realizada manualmente y por motivos de disponibilidad de material se ha usado una manguera de ocho cables, cuyos extremos han sido soldados a los pines RXD, TXD y GND, que corresponden a los números 2, 3 y 5 respectivamente en un conector SUB-D 9 hembra soldable, representado en la Figura 3.9.

En la placa PCB insertaremos un conector SUB-D 9 hembra y realizaremos un cable con otra manguera de ocho cables coaxiales, soldando en un extremo un conector SUB-D 9 macho y en el otro uno hembra, que será el que irá conectado al ordenador según se observa en la Figura 3.10.

**Figura 3.9 Manguera y conector RS232****Figura 3.10 Conexión cable RS232**

3.3 Prototipado de la placa PCB

3.3.1 Diseño en Orcad Capture

Para el diseño de la placa de conexiones en Orcad Capture, se comienza con la creación de una librería con cada uno de los componentes de los que consta el diseño, para más adelante asociarles una huella que será la correspondiente a su zócalo.

Una vez creada la huella de todos los componentes, se procede a la realización del diseño, conexiones y distribución de los distintos elementos sobre la placa.

A continuación se detalla la huella utilizada para cada componente:

3.3.1.1 Huella para el driver del motor

Se trata de un componente con un total de 34 pines dispuestos en dos hileras de 17 pines (véase Figura 3.11), con una separación entre pines de 100 milésimas de pulgada y 200 milésimas de pulgada entre hileras.

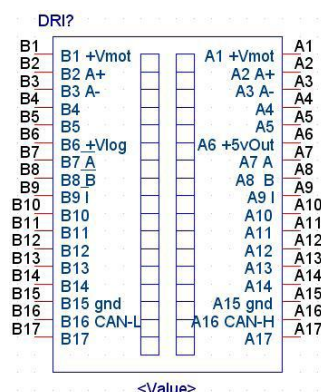


Figura 3.11 Huella en Orcad para el driver

3.3.1.2 Huella para el encoder relativo

El encoder relativo emplea un conector de 10 pines situados en dos hileras de 5 pines cada una (véase Figura 3.12), de los cuales únicamente se utilizan 8.

Los pines están separados entre sí 100 milésimas de pulgada al igual que las filas.

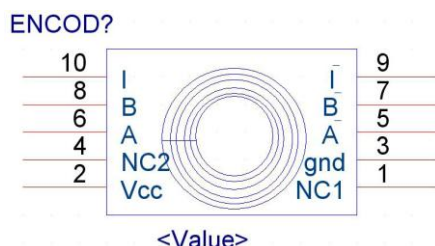


Figura 3.12 Huella en Orcad para el encoder relativo

3.3.1.3 Huella para el motor

El motor se conecta a la placa base mediante una conexión Molex 4.20mm (.135") Pitch Mini- Fit, Jr. Header, de dos posiciones, (véase Figura 3.13). Hay que tener en cuenta la corriente que va a consumir a la hora de elegir el conector y el ancho de las pistas. Se dimensiona para 5A.

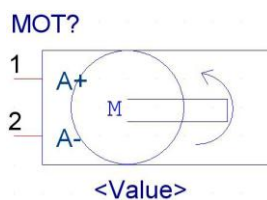


Figura 3.13 Huella en Orcad para el motor

3.3.1.4 Huella para la fuente de alimentación

La fuente de alimentación la representaremos en Orcad con la huella que tiene por defecto una fuente de alimentación VCC como la representada en la Figura 3.14.

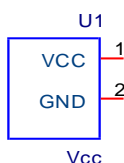


Figura 3.14 Huella en Orcad para la fuente de alimentación

3.3.1.5 Huella para los condensadores

Se utilizara la huella por defecto para cualquier condensador en Orcad, como el indicado en la Figura 3.15.



Figura 3.15 Huella en Orcad para condensadores

3.3.1.6 Huella para el conector RS232

Para el conector serie RS232 usaremos la huella para el componente SUB-D de 9 pines como el representado en la Figura 3.16.

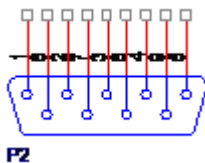


Figura 3.16 Huella en Orcad para el conector RS232

3.3.1.7 Esquemático total

En la Figura 3.17 está representado el esquemático total de la placa en orcad capture.

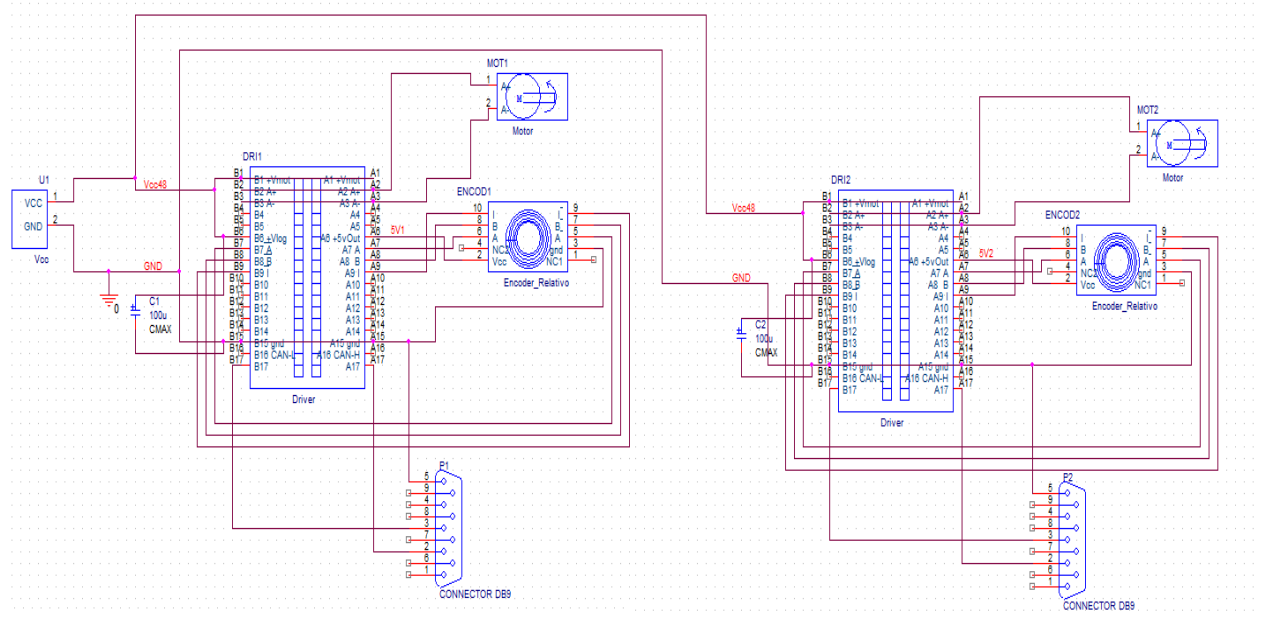


Figura 3.17 Esquemático total placa en Orcad Capture

3.3.2 Diseño en Orcad Layout

Una vez realizado el diseño en Orcad Capture, se pasa a la creación de las huellas de los componentes en Layout y más tarde a la distribución y posterior rutado de la placa PCB.

El rutado de la placa la haremos en la capa superior (TOP) y la inferior (BOTTON) y sin plano de masa para simplificar la construcción.

El ancho de las pistas de masa y las de 5V que salen del driver (pin A6 de cada driver) es de 3cm, en cambio el ancho de la pista de 48V es de 5cm, por seguridad. El resto de pistas tienen el ancho por defecto de 1.2 cm.

Por motivos de fabricación, los taladros se han realizado metalizados, de forma que la conexión será más segura.

A continuación se detallan las huellas del conector de cada componente:

3.3.2.1 Huella para el driver del motor

Se compone de 34 pines y es de tipo "Card Edge" (véase Figura 3.18)

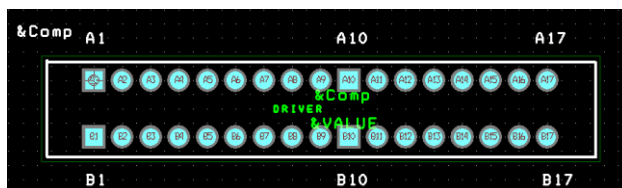


Figura 3.18 Huella en Orcad Layout para el driver del motor

3.3.2.2 Huella para el encoder relativo

Se trata de un conector de cinta plana de diez posiciones (véase Figura 3.19)

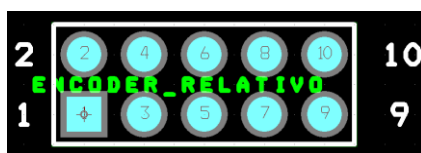


Figura 3.19 Huella en Orcad Layout para el encoder relativo

3.3.2.3 Huella para el motor

Se utiliza un conector Mini-Fit, conector Header housing 4.2 de dos posiciones (véase Figura 3.20). Por problemas de espacio, el motor 1 usará un conector acodado y el 2 uno recto.

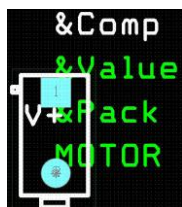


Figura 3.20 Huella en Orcad Layout para el motor

3.3.2.4 Huella para fuente de alimentación

Se emplea la misma huella que para los motores (véase Figura 3.20), pero en este caso se usará una clema acodada.

3.3.2.5 Huella para los condensadores

Los condensadores llevarán asociados la huella por defecto como la de la Figura 3.21.



Figura 3.21 Huella en Orcad Layout del conector para los condensadores

3.3.2.6 Huella para el conector RS232

Para el conector serie RS232 se utiliza la huella asociada a su componente, SUB-D 9, por defecto (véase Figura 3.22). Por problemas de espacio se usaran conectores SUB-D 9 rectos en lugar de acodados.

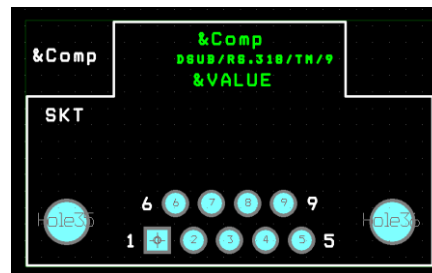


Figura 3.22 Huella en Orcad Layout del conector SUB-D9

3.3.2.7 Rutado final de la placa PCB

Finalmente el rutado queda como se muestra en la Figura 3.23.

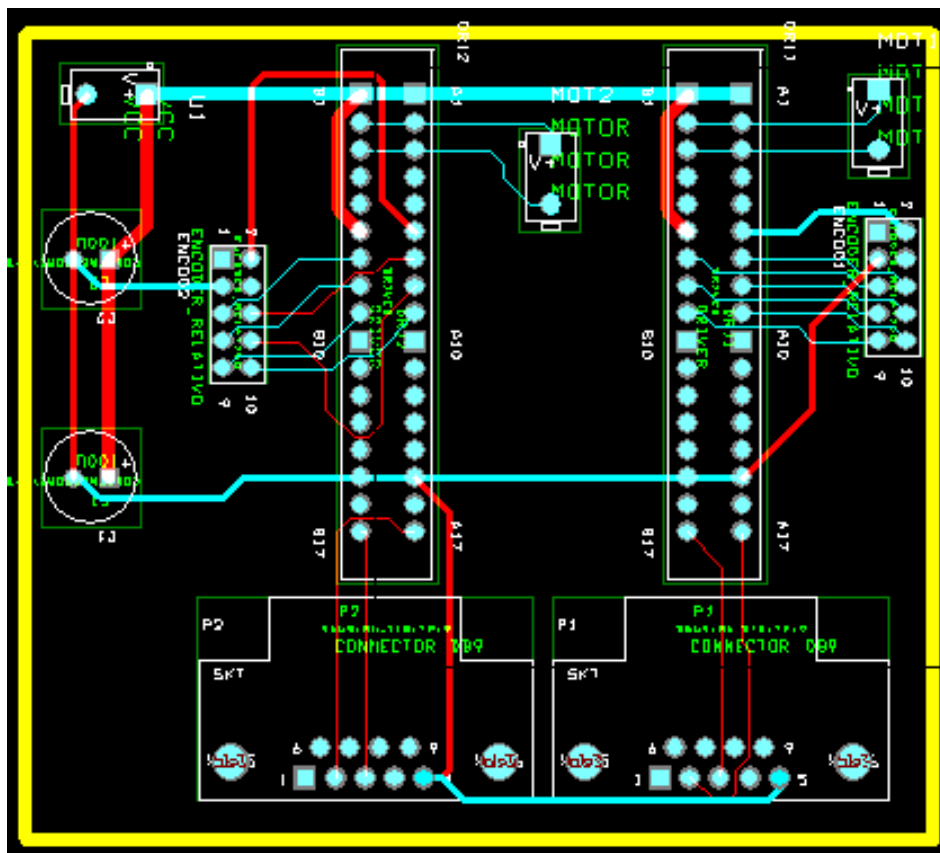


Figura 3.23 Rutado final de la placa PCB

3.3.3 Aspecto final de la placa

En la Figura 3.24 se muestra el aspecto final de la placa PCB en su cara superior, donde se encuentra la parte superior de los componentes. La Figura 3.25 muestra el aspecto de la cara inferior, donde hemos soldado todos los componentes.

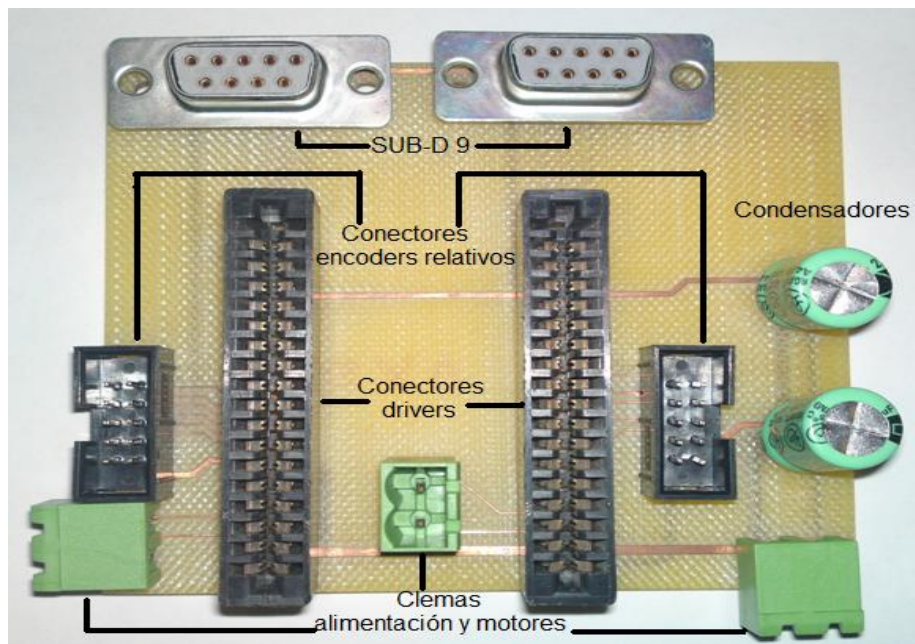


Figura 3.24 Cara superior de la placa PCB

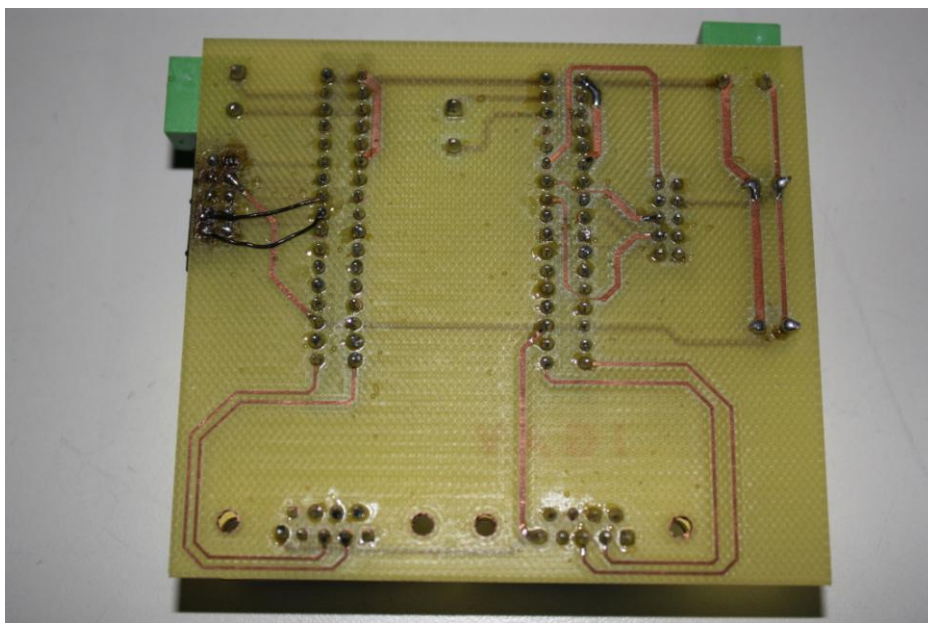


Figura 3.25 Cara inferior de la placa PCB

4 Sistema de actuación de la plataforma

4.1 Introducción

La actuación sobre la plataforma experimental se realizará mediante la interacción de una unidad de control, ordenador, desde la cual, y mediante el software Easy Motion, se podrán cargar distintas trayectorias a distintas velocidades y observar tanto las variaciones de posición que experimenta el péndulo gracias a los encoders relativos como la velocidad del péndulo en cada momento, así como las corrientes y tensiones de los motores y otros parámetros.

A continuación se detalla el uso del software Easy Motion Studio, así como su conexionado y configuración inicial.

4.2 Easy Motion Studio

4.2.1 Introducción

Se trata de un software de control que permite configurar los drivers y motores utilizados y programar los movimientos y trayectorias que serán transmitidos al tobillo, utilizando la placa PCB como interfaz entre el ordenador y el propio péndulo.

Adicionalmente permite comparar y visualizar tanto la posición como la velocidad del motor en todo momento

4.2.2 Conexionado

El conexionado entre el péndulo y el ordenador se realizará mediante cable RS232 y se usará como intermediaria la placa de conexiones descrita en el capítulo 3.

El cableado desde la placa hasta el ordenador constará de una manguera coaxial de 8 cables de los que, en este caso, sólo se utilizarán 3, los correspondientes a los pines RXD, TXD y GND del conector SUB-D soldable de 9 pines hembra, situado en el

extremo del cable y que se conectara directamente al ordenador, como se representa en la Figura 4.1.

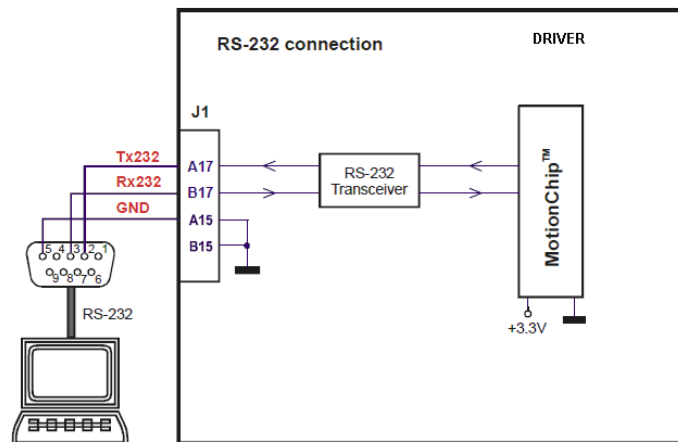


Figura 4.1 Conexión péndulo-driver

4.2.3 Creación de un proyecto

El primer paso es la creación de un nuevo proyecto, en el que se incluirán los datos necesarios para el correcto funcionamiento del driver, motor y con ello la plataforma experimental.

Para crear un nuevo proyecto se seguirá la ruta: “*Project -> New Project*”. Una vez hecho esto, se abre una ventana como la representada en la Figura 4.2. Una vez elegida la opción *New* se pasa a configurar el driver que usaremos. En este caso, se elegirá la siguiente opción: “*PLUG IN DRIVER-> ISCM8005 CANOPEN ->BRUSHED MOTOR -> Incremental Encoder, Tacho*”.

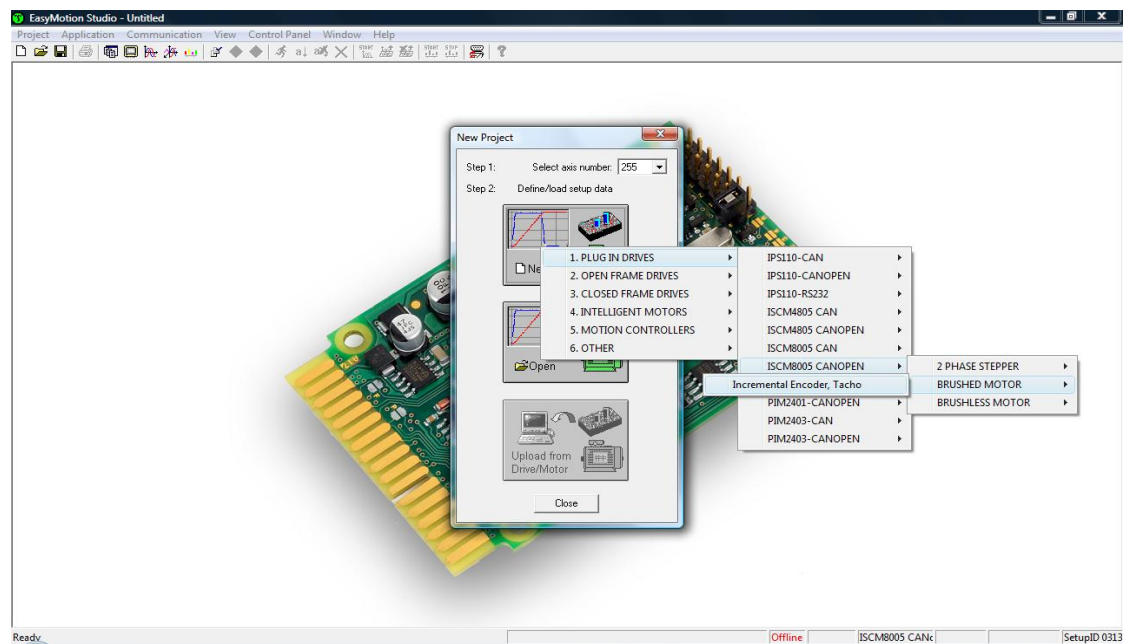


Figura 4.2 Creación proyecto I

Una vez elegida esta opción se abrirá la ventana mostrada en la Figura 4.3, que resume las características del proyecto.

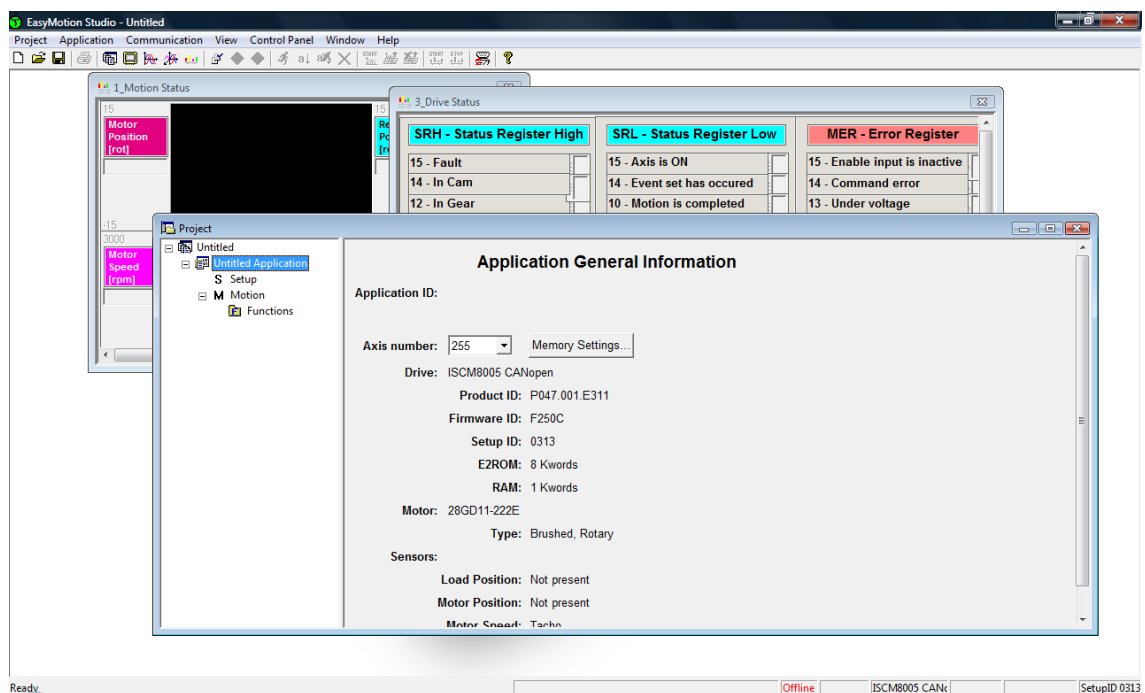


Figura 4.3 Creación de proyecto II

Haciendo click en “SETUP-> New” podremos configurar el motor e introducir sus datos característicos, que los encontraremos en las hojas de características del motor

Maxon adjuntadas en el anexo 1. Todos los datos se deben grabar en la pantalla mostrada en la Figura 4.4.

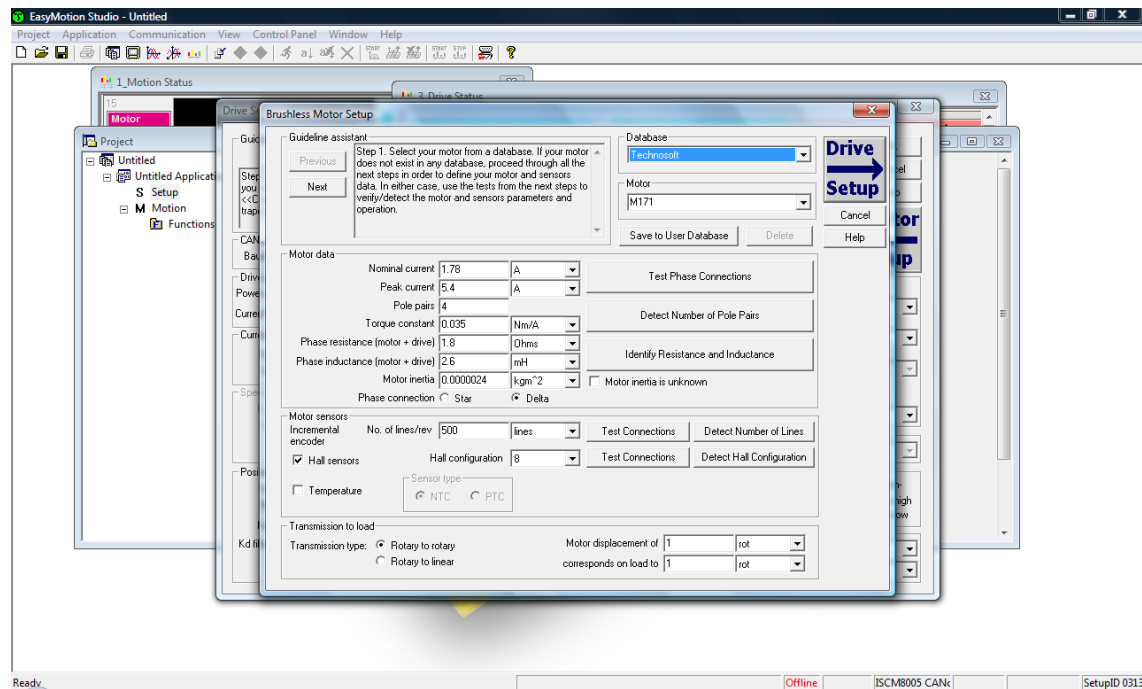



Figura 4.4 DC Motor Setup

Además se debe seleccionar la opción *Incremental encoder on motor* y el modo de transmisión: *Rotary to Rotary*.



Pulsando sobre  se podrán configurar los controladores internos del driver. Para realizar las primeras pruebas es recomendable ajustar estos controladores automáticamente, sabiendo que éstos no serán los mejores resultados obtenidos. Para llegar a la pantalla mostrada en la Figura 4.5, donde se ajustará automáticamente el controlador de posición, pincharemos en “*Tunne & Test*” dentro del recuadro de “*Position Controller*”, (no es objeto de este proyecto la sintonía de estos controladores).

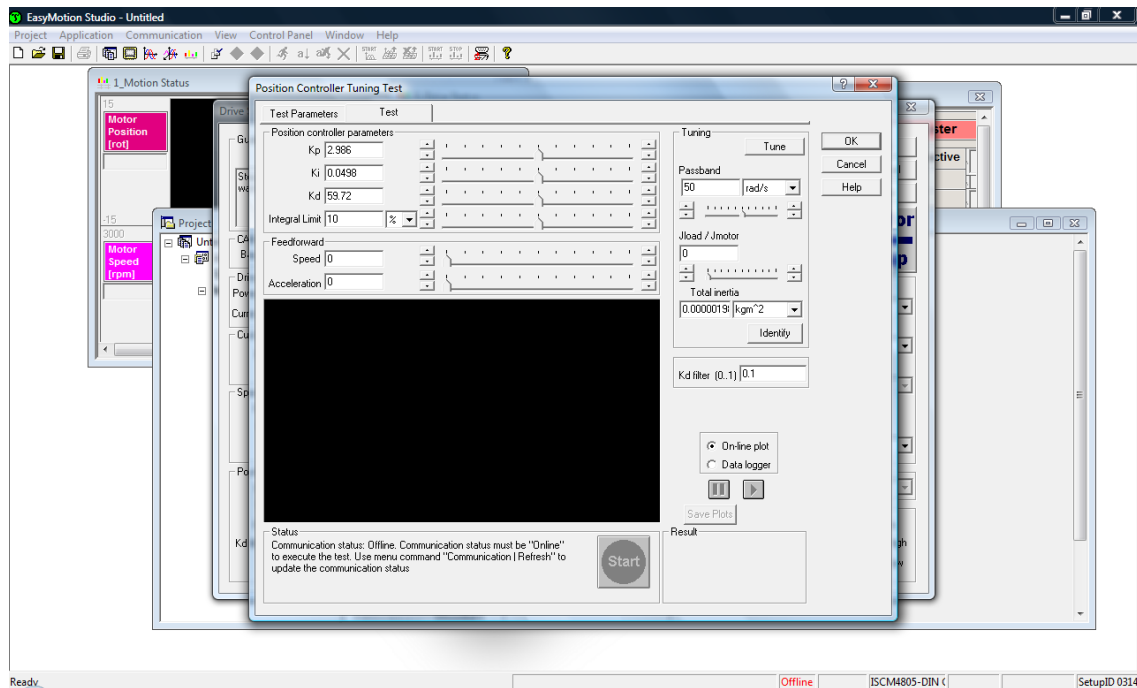


Figura 4.5 Position Controller Tunning Test

Una vez aceptados estos valores del controlador, en la ventana de “Proyecto”, pulsamos sobre “Motion” y haciendo doble click sobre la pantalla que sale, obtendremos la imagen de la Figura 4.6, en la que introduciremos la posición (modo *Motion PT*) que queremos que tenga el motor en ciertos momentos, y de esta forma crearemos una nueva trayectoria.

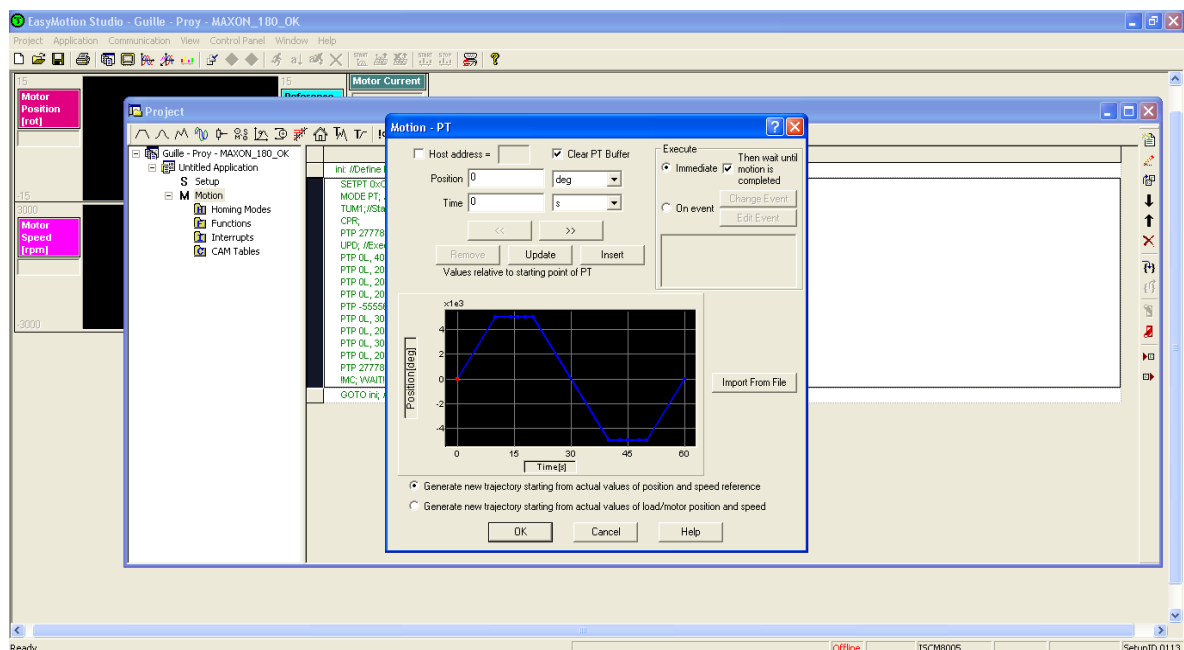


Figura 4.6 Programación de trayectorias

Existe la opción de crear perfiles de velocidad para las trayectorias, donde además de asignar puntos de posición se asignan velocidades a dichos puntos, pero se debe tener en cuenta la relación de reducción tanto del conjunto de poleas con de la reductora Harmonic Drive.

4.2.4 Ejecución de trayectorias

Una vez creadas las trayectorias necesarias, seguiremos la ruta “*Proyect-> Open*” y nos aparecerá un desplegable como el de la Figura 4.7, donde escogeremos la trayectoria que mas nos convenga de las ya realizadas.

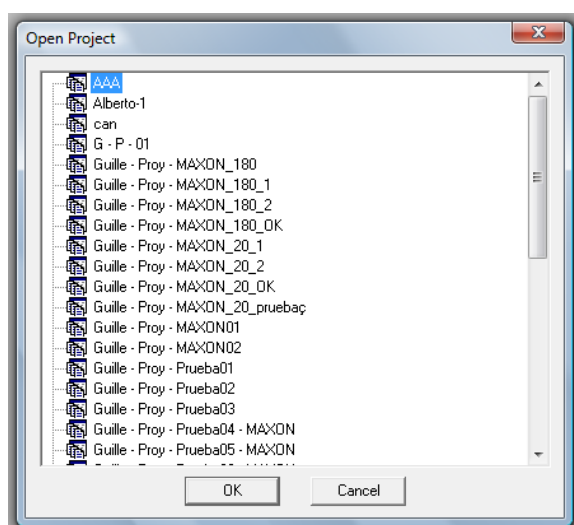



Figura 4.7 Trayectorias realizadas

Tras escoger la trayectoria necesaria, se procederá a la carga de la trayectoria seleccionada al driver del motor, habiendo verificado anteriormente que la placa donde se encuentra alojado el driver está correctamente conectada tanto al péndulo como al

ordenador y alimentada a 48V, seleccionando el icono . De esta forma nuestro estado pasará de “offline” a “online”, lo que se puede observar en la parte inferior derecha de la Figura 4.8. La primera vez que se realiza la carga nos dará un error, ya que no se ha configurado el driver para su utilización, por ello nos saldrá un aviso como el de la Figura 4.8, en la que nos informa de la versión firmware que necesita nuestro driver. En el caso del driver utilizado, la versión a actualizar siempre será la F0001 o posterior.

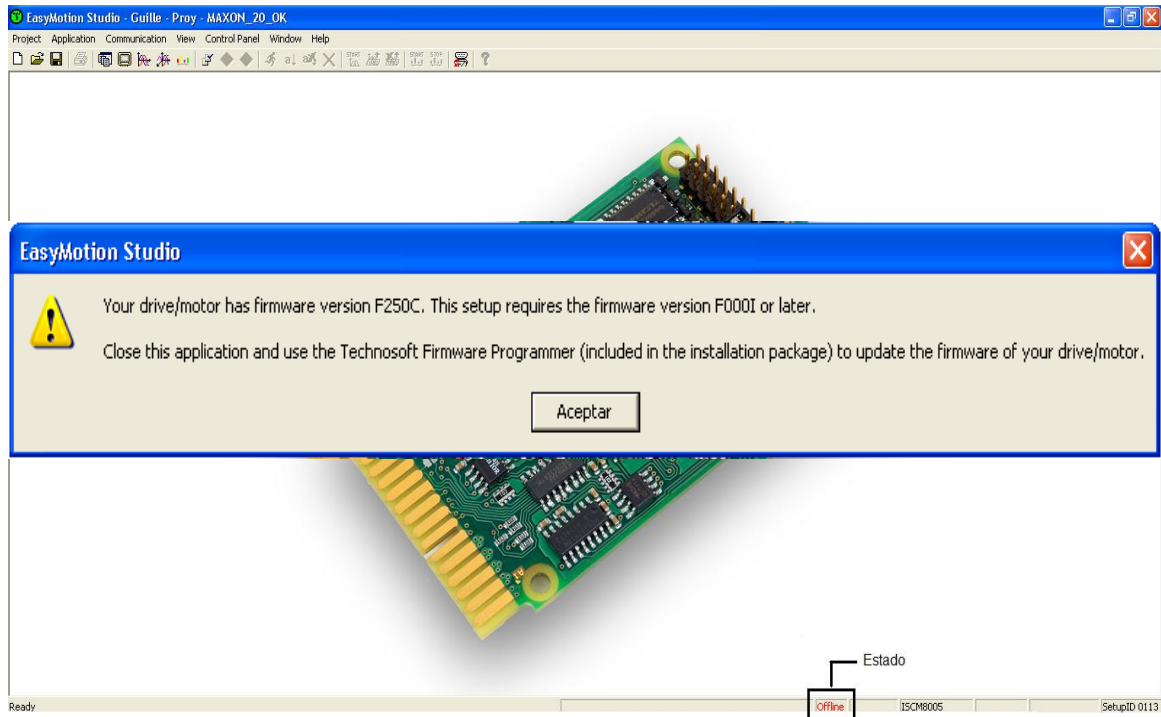


Figura 4.8 Aviso de error de firmware

Para subsanar este problema, necesitamos ejecutar el firmware de la aplicación, como se muestra en la Figura 4.9, y seleccionar la versión necesaria para nuestro driver, en este caso la F0001, en el desplegable que aparece en la pantalla. Como indica en la misma pantalla de actualización, durante la programación del firmware no se debe desconectar el cable serie, RS232.

En ocasiones es posible que una vez concluida la actualización y sin haber reportado ningún error, tras haber utilizado el driver alguna vez, vuelva a salir este error. En este caso será debido a una mala programación del mismo, por lo que se deberá desbloquear el driver con la clave que nos proporcionará la casa Technosoft.

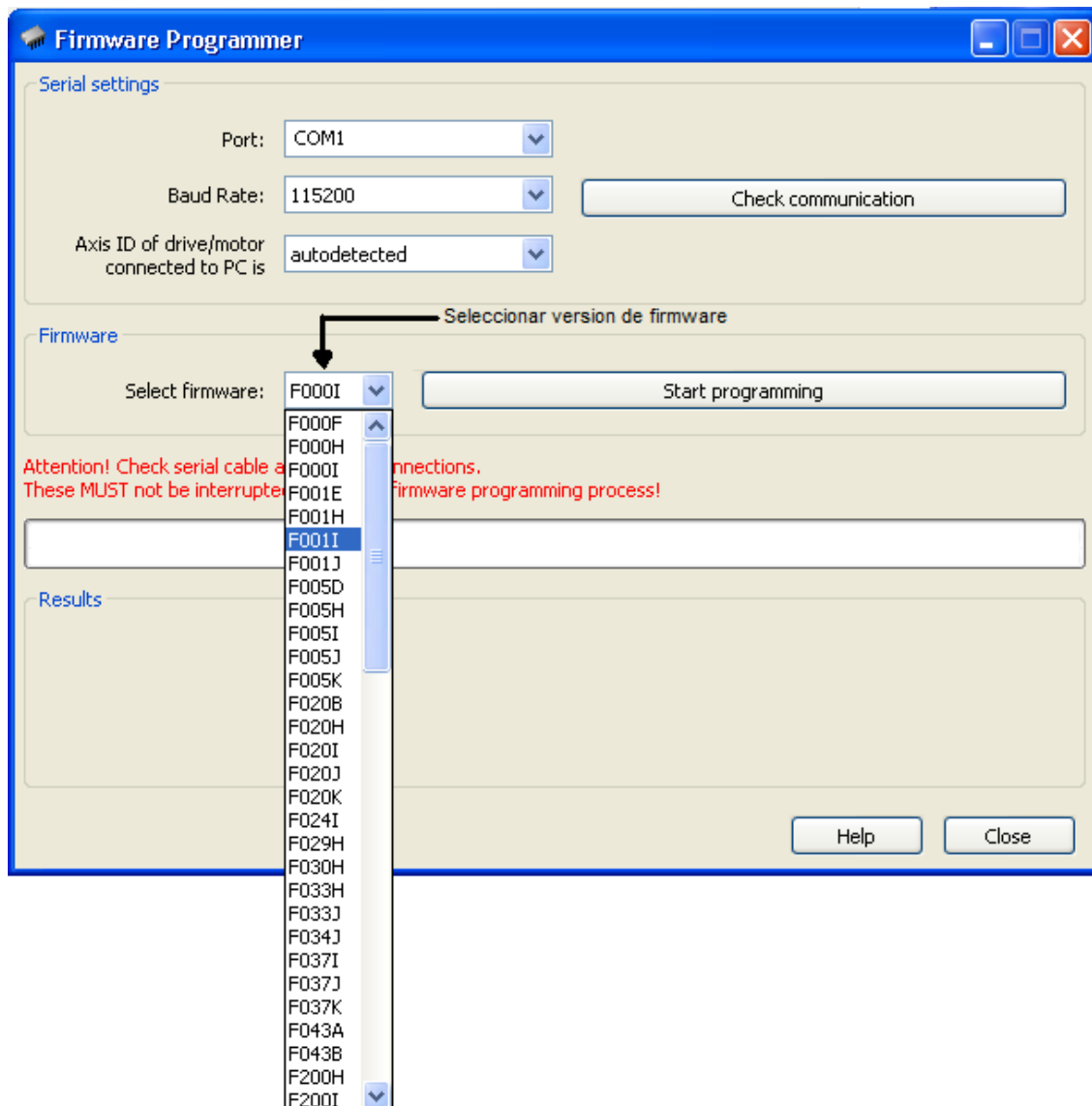





Figura 4.9 Pantalla de actualización de firmware

Una vez conseguida la conexión con el péndulo (online) lo siguiente será poner en marcha la trayectoria y por consiguiente el péndulo.

Lo primero será cargar la trayectoria, lo que se conseguirá a pulsando el icono . Tras unos segundos, el péndulo estará listo para iniciar su movimiento. Mediante el icono  conseguiremos que el péndulo arranque y describa la trayectoria que hemos seleccionado. Se debe tomar la precaución de sujetar el péndulo justo al iniciar su movimiento, ya que podría ocurrir que alguno de los encoders relativos de los motores no actúe correctamente y el péndulo caerá por su propio peso al arrancarlo.

Mientras se está ejecutando la trayectoria, este software nos permite ver la posición y velocidad del péndulo en cada momento, según se indica en el capítulo 5, sensorización.

Para detener el movimiento del péndulo se podría pulsar en icono  o esperar a que la trayectoria finalice.

4.2.5 Obtención de gráficas

El software Easy Motion nos da la posibilidad de obtener tanto la posición como la velocidad simultáneamente.

Mientras el péndulo se encuentra desplazándose, desde “view-> control panel” y señalando la opción “Motion status”, obtendremos la visualización de las dos graficas.

En la Figura 4.10 podemos observar una muestra de la grafica de velocidad y posición de una trayectoria cualquiera, con un solo grado de libertad.

Se observa que las salidas de posición y velocidad siguen con error despreciable a dichas referencias.

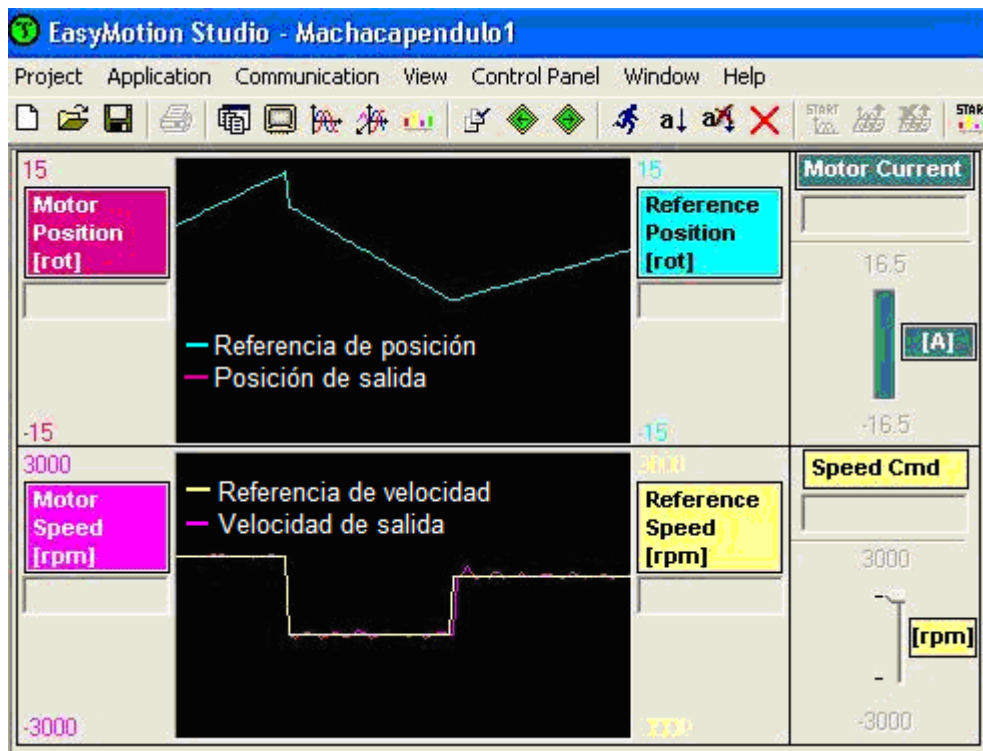


Figura 4.10 Trayectoria en Easy Motion de un grado de libertad

5 Sistema de sensorización

de la plataforma

5.1 Introducción

La finalidad de este proyecto es lograr el total control de la plataforma experimental de péndulo invertido. Para ello es necesario tanto el control de sus trayectorias, así como conocer en todo momento la posición, velocidad, fuerza y par que se está ejerciendo sobre el prototipo.

La información de la posición y velocidad del péndulo en cada momento nos la proporcionan los encoders relativos que lleva alojados cada uno de los dos motores que forman parte del prototipo. En el capítulo 4 se explica al detalle cómo obtener gráficamente estos valores gracias al software Easy Motion Studio.

En la base de la plataforma experimental se encuentra alojado un sensor JR3, a través del cual logramos obtener los valores de fuerza y par que se están ejerciendo en cada momento. La visualización de estos valores se consigue gracias al software JR3-PCI, pero solamente de forma instantánea.

5.2 Fuerza y par ejercido sobre la base del péndulo invertido

5.2.1 Introducción

A parte de controlar las trayectorias que queremos que describa el péndulo, debemos saber en todo momento cuáles son los pares y fuerzas que se están ejerciendo sobre la base del péndulo. Para ello, se dispone de un sensor de fuerza del tipo JR3, situado en la base, y a través del cual conseguiremos medir todas las fuerzas que se ejercen.

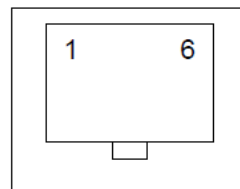
La visualización de las fuerzas y momentos se consigue mediante el software JR3-PCI.

Este software nos permite el estudio de las fuerzas y pares ejercidos ya que podremos ver en qué instantes las fuerzas saturan al sensor o son mínimas pero de forma instantánea.

5.2.2 Conexionado

La tarjeta utilizada para el conexionado con el ordenador es la PCI JR-3114, que habrá sido previamente instalada.

El conexionado del sensor con el ordenador no será a través de la placa de conexiones, sino que se conectarán mediante conexiones RJ-11, descritas en la Figura 5.1.



6 pin Sensor Jack

PIN	SEÑAL
1	DCLK +
2	DCLK -
3	+ ~ 8 V
4	PWR COM
5	DATA +
6	DATA -

Figura 5.1 Conexiones RJ-11

Según las hojas recharacterísticas adjuntas en el anexo 4 se debe prestar especial atención a la conexión de estos cables, ya que las señales irán conectadas en pines opuestos en un extremo del cable y en el otro, es decir, que la señal que se conecta en un extremo en el pin 1, en el otro irá al pin 8, el del 2 al 7, y así con todas las conexiones, (ver Figura 5.2).

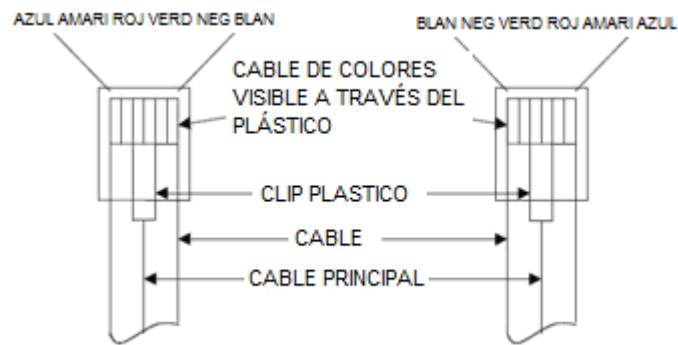


Figura 5.2 Cable utilizado en el conector RJ-11

5.2.3 Configuración inicial y uso de JR3-PCI

El software JR3 no necesita una instalación previa, desde el propio CD se puede iniciar el programa.

Al iniciarlo sale la ventana donde directamente veremos las distintas fuerzas que se ejercen. Dependiendo del sensor que se trate, se debe configurar los campos "Device ID" y "Vendedor ID", ya que por defecto vienen el 1764 y 1111, respectivamente.

Deberemos cambiar los parámetros por los apropiados para el sensor que nos ocupa. En este caso el "Vendedor ID" será 1762 y el "Device ID" será 3114. En la Figura 5.3 se muestra la página inicial señalando los parámetros que se deben cambiar.

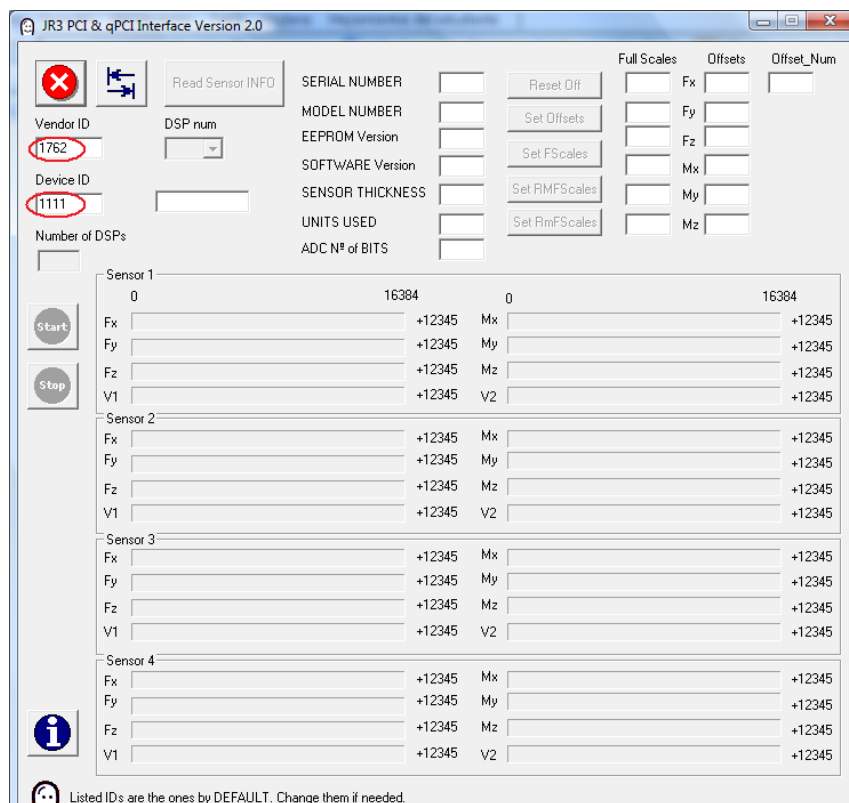



Figura 5.3 JR3-PCI (I)

Una vez configurado, procederemos a cargar la configuración al sensor mediante

el icono . Es importante pulsar este icono en vez de dar a la tecla de intro del teclado del ordenador, ya que con esa acción el programa se cierra. Seguidamente nos saldrá una pantalla para confirmar los parámetros introducidos como la de la Figura 5.4, en la que simplemente aceptaremos el mensaje.

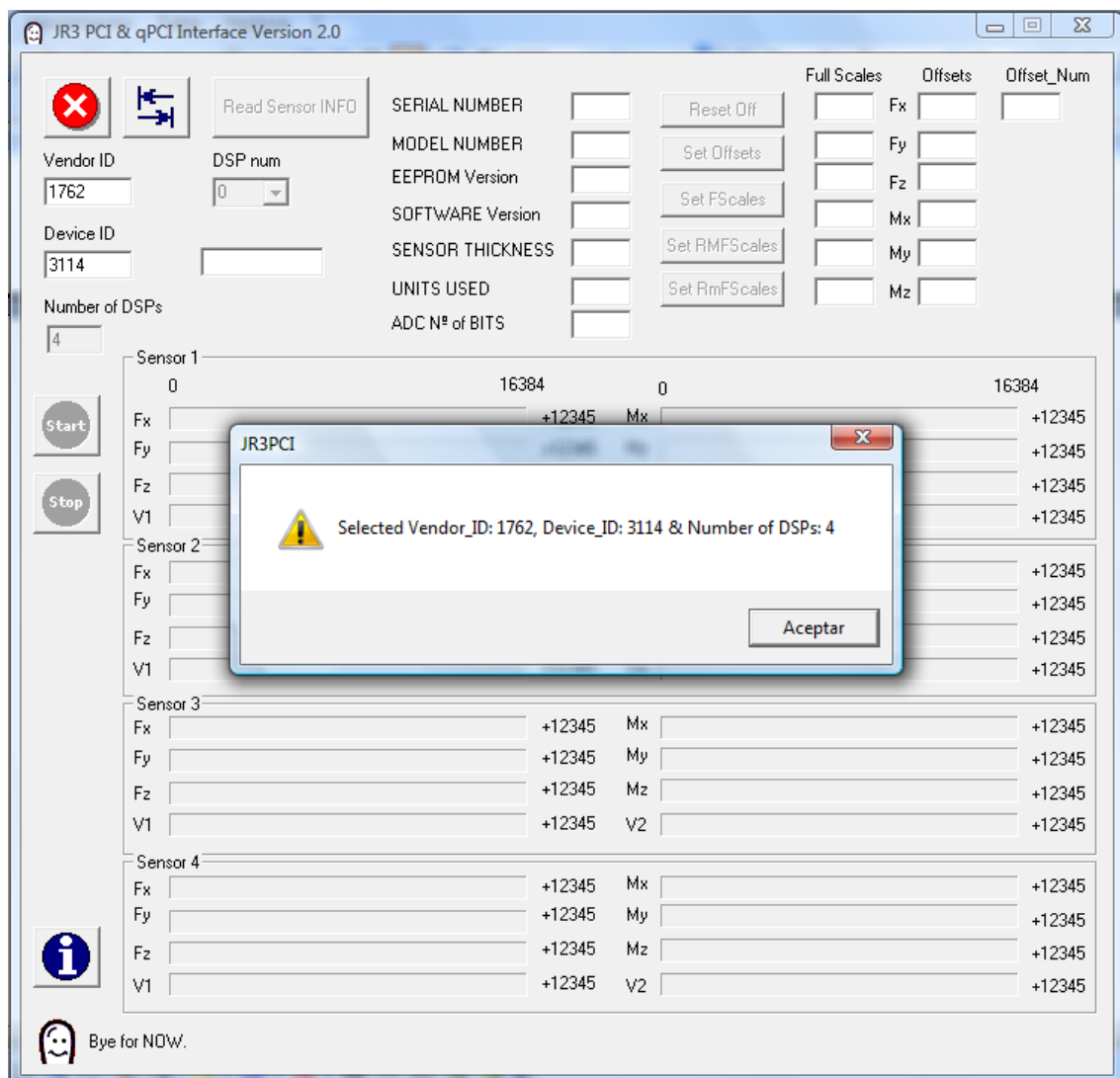



Figura 5.4 Configuración de parámetros

Una vez configurado el sensor, deberemos iniciar el software para comenzar a ver la evolución de los momentos y las fuerzas que son ejercidas sobre el sensor, por lo que

pulsaremos el icono .

Para poder visualizar los resultados no es necesario haber cargado una trayectoria mediante el software Easy Motion, si no que simplemente con mover el péndulo manualmente conseguiremos observar las distintas variaciones.

En la Figura 5.5 vemos cómo van variando las fuerzas según movemos el péndulo.

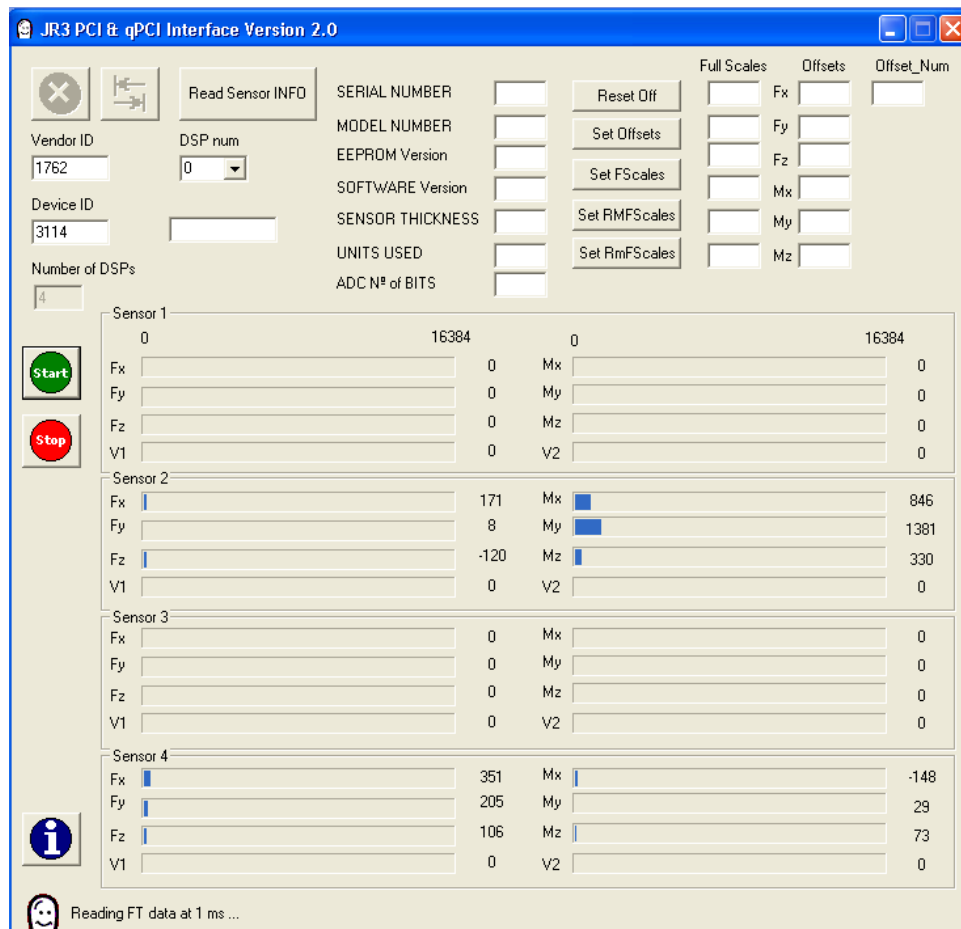


Figura 5.5 Lectura de fuerzas y momentos.

Cómo se puede observar en la figura anterior, este software nos muestra las fuerzas y momentos en los tres ejes, X, Y, Z de cada sensor, pudiéndose conectar hasta 4 sensores. Esta medida es una medida instantánea, por lo que mediante este software no podremos conseguir una visión de la evolución de las fuerzas y pares ejercidos.

En la figura aparecen medidas en dos sensores, pero la medida que nos interesa será la del sensor 2, ya que la mostrada en el sensor 4 es ruido generado por el sensor. Las unidades de medida no están determinadas, ya que ni en el software ni en el manual del mismo se incluye de qué unidades se trata. La numeración de los sensores dependerá de en qué puertos conectemos el cable del R11.

6 Resultados experimentales

6.1 Introducción

En esta parte del proyecto mostraremos los resultados experimentales obtenidos mediante el programa Easy Motion Studio y JR3-PCI.

Los resultados están divididos en el uso de un grado de libertad (plano sagital o frontal) y el uso de los dos.

6.2 Gráficas software Easy Motion Studio.

6.2.1 Gráficas de un grado de libertad.

La obtención de las siguientes gráficas la conseguiremos gracias a la aplicación de Logger, a la que llegaremos mediante la ruta: “*view->Logger*”. Esta aplicación nos permite la visualización de velocidad, posición, corriente y demás variables, que no se han utilizado en este proyecto pero se están probando en diferentes proyectos. Adicionalmente, se puede elegir las unidades de representación, las siguientes gráficas de velocidad están en revoluciones por minuto (rpm) y las de posición en radianes (rad)

Tanto la velocidad como la posición serán positivas cuando el tobillo se mueva hacia la derecha y negativas cuando lo haga hacia la izquierda.

En las Figura 6.1 y Figura 6.2 se encuentran representadas las gráficas de posición y velocidad del motor en el plano frontal mientras realiza una trayectoria bastante brusca. En la Figura 6.1 se puede observar que el motor cambia de forma rápida su posición, por ejemplo, en el segundo 6 el motor estará en 15rad mientras que en el segundo 7 pasa rápidamente a 0rad. A su vez, se puede ver en la Figura 6.2 que la velocidad varía mucho durante todo el periodo.

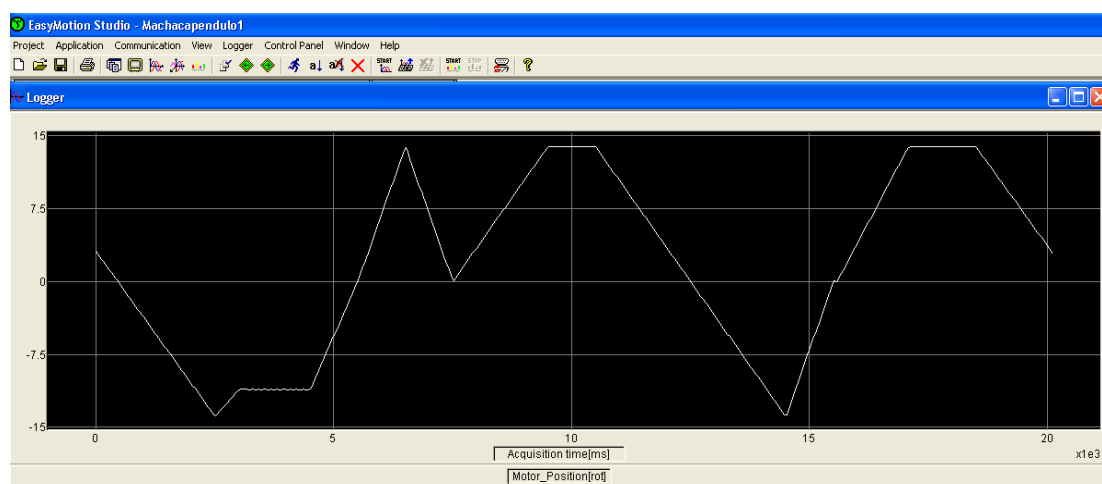


Figura 6.1 Posición del motor en el plano frontal para una trayectoria brusca

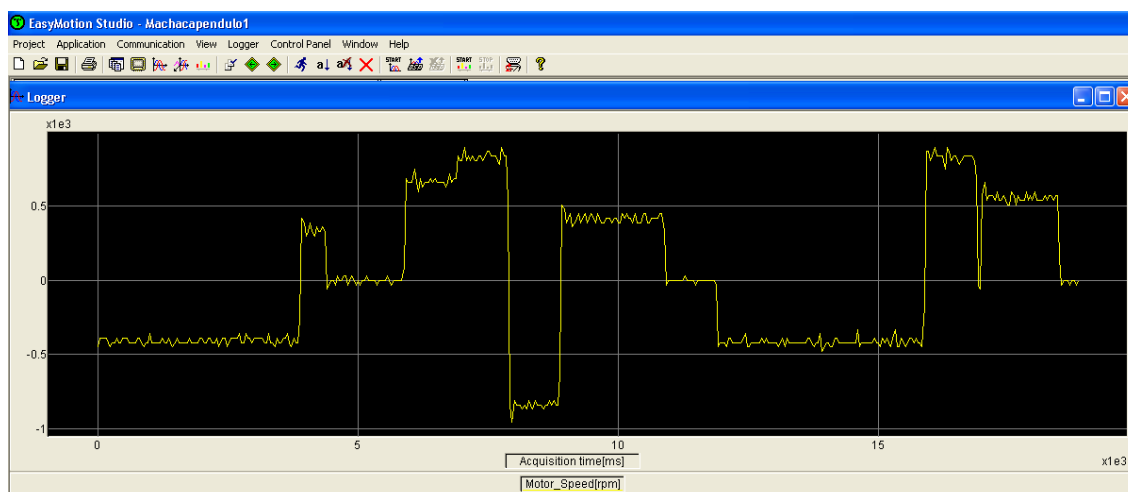


Figura 6.2 Velocidad del motor en el plano frontal para una trayectoria brusca

Las Figura 6.3 y Figura 6.4 muestran la evolución del péndulo en el plano sagital durante una trayectoria bastante más lenta. Se trata de una trayectoria con un movimiento lento de 20° y sin cambios bruscos de posición ni velocidad.

En la Figura 6.4, vemos cómo los cambios de posición se suceden de forma suave y simétrica.

En cambio, en la Figura 6.4 se observan picos en la velocidad del motor, como por ejemplo en el segundo 5. Esto es debido a que en ese momento, el péndulo llega a uno de sus puntos de inflexión, punto máximo, y es dónde la velocidad se hace cero.

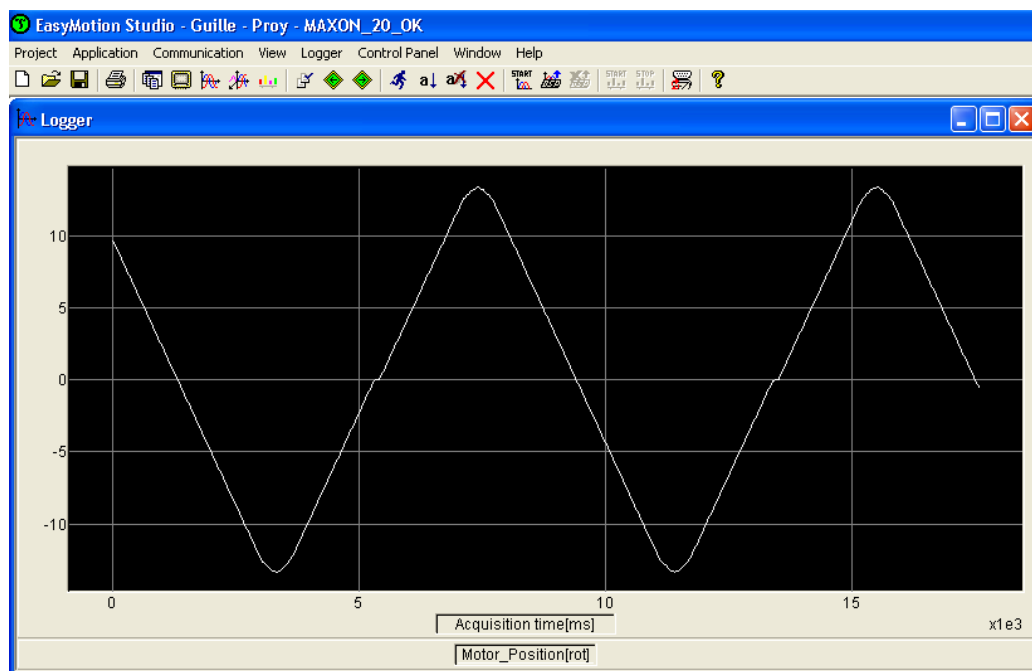


Figura 6.3 Posición del motor en el plano sagital para una trayectoria suave

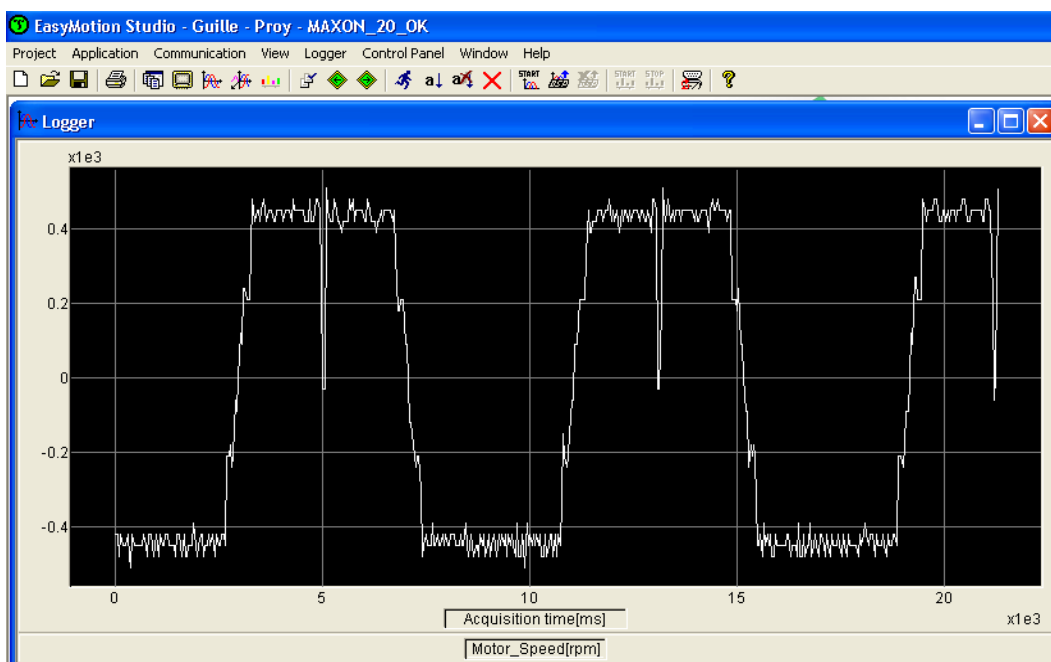


Figura 6.4 Velocidad del motor en el plano sagital para una trayectoria suave

6.2.2 Gráficas de dos grado de libertad.

Para poner en funcionamiento los dos motores a la vez, es necesario abrir dos veces el software Easy Motion Studio e indicar en cada pantalla uno de los puertos a usar, los cuales serán el COM 1 y el COM 4. Esta configuración se realiza a través de la siguiente ruta: “*Comunication-> Setup*”. El último paso será cargar las dos pantallas con la misma trayectoria y ejecutar primero uno y luego el otro.

En las Figura 6.5, Figura 6.6, Figura 6.7 y Figura 6.8 se observa la posición y velocidad en el plano frontal y sagital, respectivamente, del péndulo cuando usamos los dos motores a la vez durante una trayectoria suave, un movimiento de 20° con una velocidad constante y lenta. La trayectoria brusca no es conveniente ejecutarla con los dos motores ya que fuerza mucho a los mismos y podría dañarse la plataforma.

De la misma forma que en las gráficas anteriores, la posición de los motores tanto en el plano sagital como en el frontal se sucede de forma simétrica y sin grandes variaciones, en cambio la velocidad sufrirá picos que la hagan cero, debido a los puntos de inflexión de ambos planos.

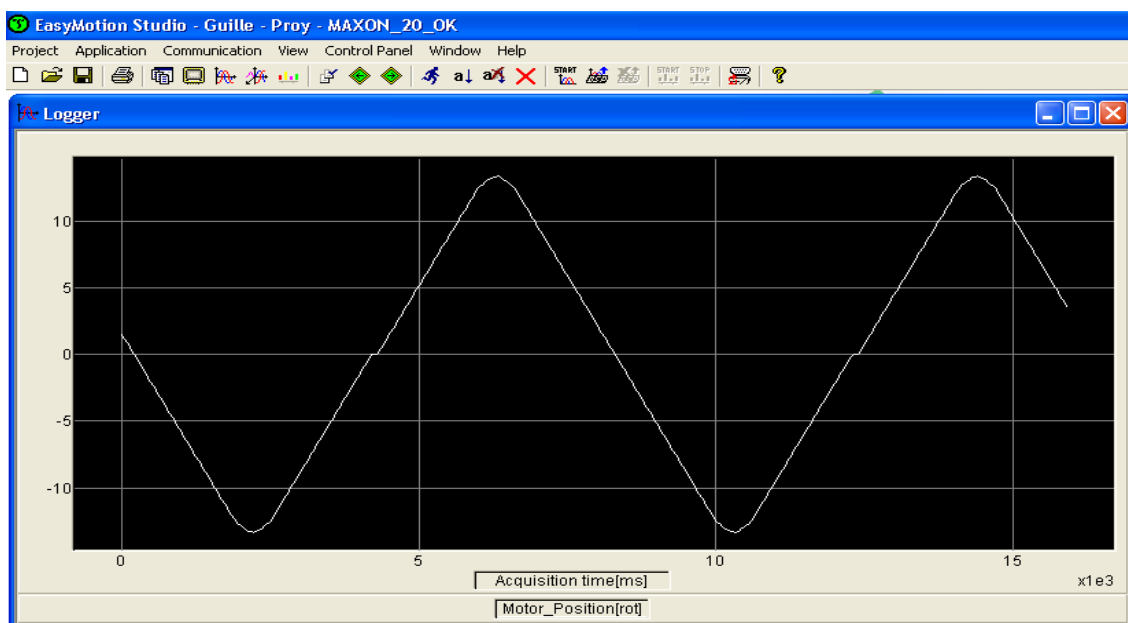


Figura 6.5 Posición de los motores en el plano frontal para una trayectoria suave

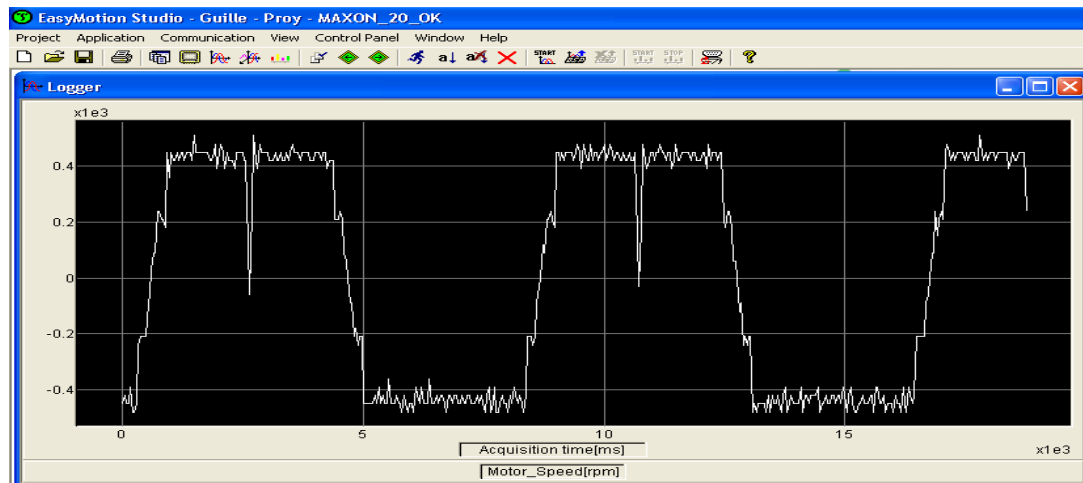


Figura 6.6 Velocidad de los motores en el plano frontal para una trayectoria suave

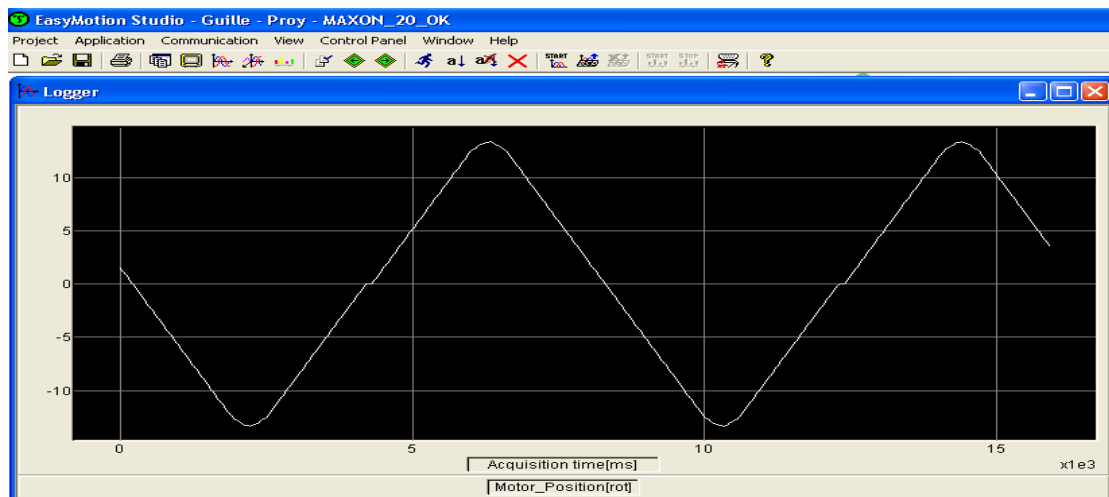


Figura 6.7 Posición de los motores en el plano sagital para una trayectoria suave

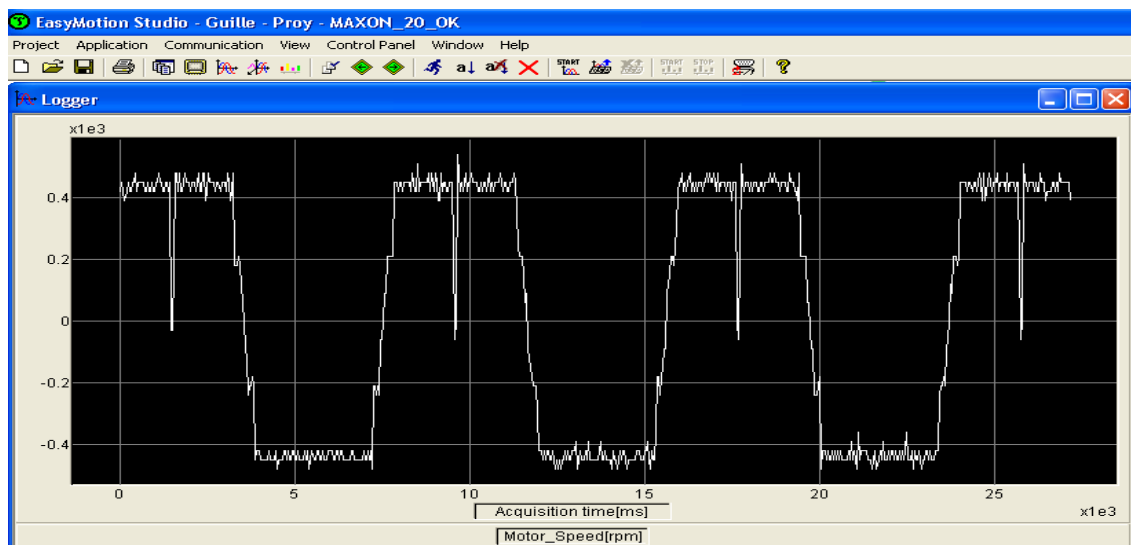


Figura 6.8 Velocidad de los motores en el plano sagital para una trayectoria suave

6.3 Gráficas software JR3-PCI

En la Figura 6.9 vemos cuáles son las fuerzas y momentos ejercidos sobre el péndulo. Según sea su posición y velocidad con la que llegue, las fueras y pares pueden aumentar hasta llegar a saturar o disminuir hasta ser negativas.

Se trata de una medida instantánea por lo que no se harán distinciones entre un o dos grados de libertad. Es objeto de otro proyecto la obtención del histórico de pares para una trayectoria determinada.

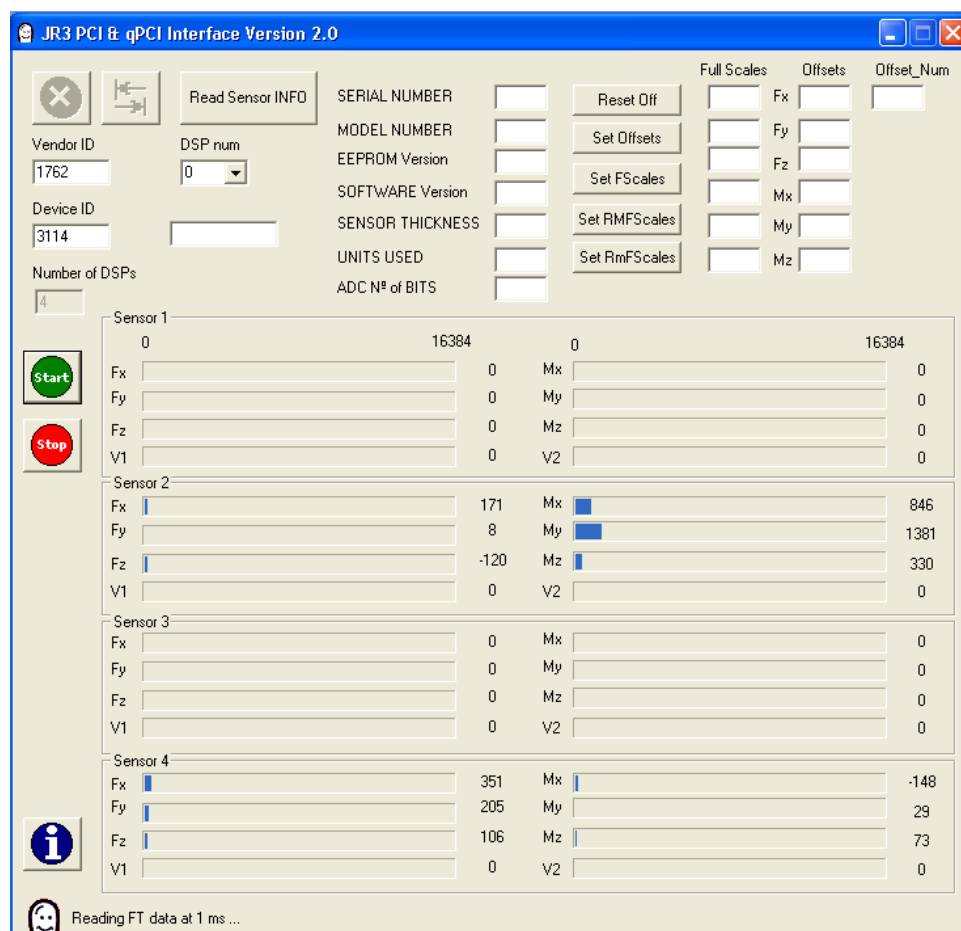


Figura 6.9 Fuerzas y momentos para un movimiento del péndulo

En la figura aparecen medidas en dos sensores, pero la medida que nos interesa será la del sensor 2, ya que la mostrada en el sensor 4 apenas varía. La numeración de los sensores dependerá de en qué puertos conectemos el cable del R11.

Cómo se puede observar en la figura anterior, este software nos muestra las fuerzas y momentos en los tres ejes, X, Y, Z de cada sensor, pudiéndose conectar hasta 4 sensores. Las fuerzas y momentos en el eje X aparecerán cuando movamos el péndulo dentro del eje frontal, en el eje Y cuando lo hagamos dentro del eje vertical y en el eje Z cuando se ejerza fuerza sobre el eje sagital. Estas medidas son medidas instantáneas, por lo que mediante este software no podremos conseguir una visión de la evolución de las fuerzas y pares ejercidos.

Las unidades de medida no están determinadas, ya que ni en el software ni en el manual del mismo se incluye de qué unidades se trata, por ello no podemos hacer un cálculo teórico y hacer una comparación con el experimental. Se estudió cómo poder llevar estas señales a otro software como Matlab para poder controlar el péndulo ante perturbaciones, pero no se logró. Esta siendo objeto de otro proyecto.

7 Conclusiones y trabajos

futuros

7.1 Conclusiones

El principal objetivo del trabajo consistía en documentar y analizar todos los componentes de la plataforma experimental de péndulo invertido. Una vez estudiados todos los componentes se realizaría una placa de conexiones que se utilizaría como interfaz entre la unidad de control y el prototipo.

Tras haber diseñado y prototipado la placa, se procedería a su conexión y puesta en marcha del péndulo.

Las conclusiones a las que se ha llegado tras el desarrollo de todo el trabajo, por orden cronológico, son:

- Se ha analizado cada componente de la plataforma y estudiado las necesidades para la puesta en marcha de la misma.
- Se ha diseñado una placa de conexiones, en placa de puntos y PCB, para satisfacer las necesidades y lograr el movimiento del péndulo.
- Se han diseñado trayectorias y se ha verificado el correcto funcionamiento del péndulo.
- Una vez verificado el funcionamiento en lazo abierto y estudiado sus resultados experimentales, se ha llegado a la conclusión de que es necesario cerrar el lazo de control para poder controlar el péndulo de forma robusta ante perturbaciones o incertidumbres en el modelo del mismo.

7.2 Trabajos futuros

Como desarrollos futuros pueden incluirse las siguientes líneas de estudio:

- La principal necesidad futura será el poder trabajar con el tobillo en lazo cerrado.
- Utilizar la plataforma para el desarrollo de estrategias de control para la estabilidad del humanoide RH-2.
- Implementar los protocolos de comunicación que van a usarse en el robot humanoide RH-2.
- Ampliar las pruebas de robustez del prototipo a nivel mecánico-electrónico (mecánica más conjunto motor-reductor), para validar el diseño y acotar sus rangos y condiciones de funcionamiento.

Bibliografía

MANUALES

- [1] "User Manual ISMxx05 SK-BL v1.2" Technosoft intelligent Servo Drive. January 2006

ARTÍCULOS

- [2] "A new approach on human-robot collaboration with humanoid robot RH-2", C.A. Monje, P. Pierro, C. Balaguer. Systems Engineering and Automatics Department, University Carlos III of Madrid.

LIBROS

- [3] "Diseño de circuitos impresos con Orcad Capture y Layout V 9.2", Recasens Bellver, María Auxiliadora. Thomson 2002.

PROYECTOS FIN DE CARRERA

- [4] "Caracterización, modelado y control del tobillo del Robot Humanoide RH-2", Guillermo Gallardo Fernández.

DIRECCIONES DE INTERNET

- [5] <http://www.electan.com>
[6] <http://www.jr3.com/>
[7] <http://www.wikipedia.com>
[8] www.baseconex.com
[9] <http://www.google.com>
[10] <http://www.wordreference.com>

Anexos

Anexo 1: Motor Maxon

Anexo 2: Drivers

Anexo 3: Datsheet RJ11

Anexo 4: Sensor JR3

Anexo 5: Fuente de alimentación